

MAGEN-DARM-PASSAGEZEIT BEI SCHILDKRÖTEN
(TRACHEMYS SCRIPTA ELEGANS, EMYS ORBICULARIS
UND TESTUDO HERMANNI BOETTGERI)

von Anna Fischer, geb. Freitag

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

MAGEN-DARM-PASSAGEZEIT BEI SCHILDKRÖTEN
(TRACHEMYS SCRIPTA ELEGANS, EMYS ORBICULARIS
UND TESTUDO HERMANNI BOETTGERI)

von Anna Fischer, geb. Freitag
aus Crivitz
München 2018

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Klinik für Vögel, Kleinsäuger, Reptilien und Zierfische

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Korb

Mitbetreuung durch
Priv.-Doz. Dr. Monika Rinder

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Korbel

Korreferent/en: Priv.-Doz. Dr. Daniela Rodler

Tag der Promotion: 10. Februar 2018

Für M A R A

„Es wird viel gesündigt gegen diese armen Tiere, indem man fälschlich wähnt, daß die Zähigkeit ihres Lebens auch eine feste Gesundheit voraussetze. Nein, die Schildkröten sind für äußere, scheinbar unbedeutende Einwirkungen höchst empfindlich. Sie leiden nur langsam. Und das ist es, was zu glauben verleitet, daß sie alles ertragen könnten.“

J. v. Fischer (o. D.), zitiert nach KAHLE (1926)

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
------------------------------------	-----------

GLOSSAR.....	X
---------------------	----------

I. EINLEITUNG	1
----------------------------	----------

II. LITERATURÜBERSICHT.....	3
------------------------------------	----------

1. Systematik und Biologie der einbezogenen (Unter-)Arten.....	3
---	----------

1.1. Taxonomische Einordnung	3
------------------------------------	---

1.2. <i>Trachemys scripta elegans</i> (Wied, 1839).....	4
---	---

1.3. <i>Emys orbicularis</i> (Linnaeus, 1758)	7
---	---

1.4. <i>Testudo hermanni boettgeri</i> Mojsisovics, 1889	11
--	----

2. Verdauung von Schildkröten	14
--	-----------

2.1. Anatomie des Verdauungstraktes.....	14
--	----

2.2. Physiologie des Verdauungstraktes.....	19
---	----

3. Ernährung von Schildkröten.....	25
---	-----------

3.1. Fütterungsempfehlungen	25
-----------------------------------	----

3.2. Saisonale Änderungen der Ernährung	27
---	----

3.3. Futtermenge, Energie- und Nährstoffbedarf	28
--	----

3.4. Koprophagie	29
------------------------	----

3.5. Zellulosefasern	30
----------------------------	----

4. Magen-Darm-Passagezeiten von Schildkröten	31
---	-----------

4.1. Allgemeines zur Magen-Darm-Passagezeit	31
---	----

4.2. Messung der Passagezeit	32
------------------------------------	----

4.3. Passagezeit-Definitionen und Passagezeiten.....	33
--	----

4.4. Einflussfaktoren auf die Passagezeit von Reptilien	41
---	----

4.4.1. Temperatur	42
-------------------------	----

4.4.2. Saison	44
---------------------	----

4.4.3. Fütterung	45
------------------------	----

4.4.4. Körpergröße und Alter	46
------------------------------------	----

4.4.5. Geschlecht	47
-------------------------	----

4.4.6. Intra- und interindividuelle Schwankungen	47
--	----

4.4.7. Stress	48
---------------------	----

5.	Chromoxidgrün	48
III.	TIERE, MATERIAL UND METHODEN	50
1.	Studientiere	50
2.	Haltungsbedingungen	52
2.1.	Allgemeines.....	52
2.2.	Unterbringung der Tiere.....	53
2.3.	Fütterung der Tiere.....	54
2.4.	Temperatur	57
2.5.	Saison	58
3.	Ermittlung der Passagezeit (PZ)	58
4.	Auswertung und statistische Methoden	62
IV.	ERGEBNISSE	63
1.	Vergleich der Langen und Bolusauszählung	63
2.	Intra- und interindividuelle Streuung	67
3.	Einfluss der Temperatur	71
4.	Einfluss der Kalenderwochen (Saison).....	73
5.	Körpergewicht	74
5.1.	Gewichtsentwicklung der Tiere	74
5.2.	Einfluss des Körpergewichtes	74
6.	Einfluss des Geschlechts (Wasserschildkröten).....	75
7.	Einfluss des Alters	77
8.	Einfluss der Fütterung	81
8.1.	Einfluss der Futtermenge (Wasserschildkröten)	81
8.2.	Einfluss der Futterart	82
V.	DISKUSSION	85
1.	Der Marker Chromoxid und seine Beurteilung	85
2.	Auszählungsvarianten und Artunterschiede	87
3.	Intra- und interindividueller Einfluss	92
4.	Temperatur	93

4.1.	Haltungstemperatur	93
4.2.	Einfluss der Temperatur auf die Passagezeit.....	95
5.	Einfluss der Kalenderwochen (Saison).....	97
6.	Körpergewicht	98
6.1.	Gewichtsveränderungen	98
6.2.	Einfluss des Körpergewichtes	99
7.	Einfluss des Geschlechts (Wasserschildkröten).....	99
8.	Einfluss des Alters	100
9.	Fütterung.....	102
9.1.	Fütterungsregime und Futtermenge	102
9.2.	Futterart	104
9.3.	Einfluss der Futterart.....	106
10.	Schlussfolgerungen.....	108
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	109
VII.	SUMMARY.....	111
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS	113
IX.	ANHANG	131
X.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	136
XI.	TABELLENVERZEICHNIS	138
XII.	DANKSAGUNG	139

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ad lib.	ad libitum
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
Ca	Kalzium
Ca/P	Kalzium-Phosphor-Verhältnis
CITES	Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora
cv	Carnivor (Fleischfresser)
d	Tag(e)
FA	Futterraufnahme
IE	Internationale Einheiten
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
juv	juvenil (Jungtier)
Kap.	Kapitel
KG	Körpergewicht
KM	Körpermasse
LSK	Landschildkröte(n)
m	männlich
MDT	Magen-Darm-Trakt
MRT	Mean retention time = mittlere Verweilzeit
NfE	Stickstoff-freie-Extraktstoffe
o. D.	ohne Datum
oS	Originalsubstanz (entspricht Frischsubstanz)
ov	Omnivor (Allesfresser)
PZ	Passagezeit(en)
p. o.	per os
POTZ	preferred optimal temperature zone (Körper-Vorzugstemperatur)
Ra	Rohasche
Rp	Rohprotein
Rfa	Rohfaser
Rfe	Rohfett
SK	Schildkröte(n)
SKP	Schildkrötenpudding(s)
spp.	Spezies (Arten)
TS	Trockensubstanz
TVT	Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz
UNEP	United Nations Environment Programm (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
uS	Ursprüngliche Substanz (Frischsubstanz; Originalsubstanz)
w	weiblich
WSK	Wasserschildkröte(n)

GLOSSAR

ad libitum	Futter stets zur freien Aufnahme
adult	ausgewachsen (bei Reptilien: geschlechtsreif)
Carnivor	Fleischfresser
Caecum	Blinddarm
Colon	Grimmdarm (bildet zusammen mit Blinddarm und Enddarm den Dickdarm)
ektotherm	Körpertemperatur ist von den äußeren Einflüssen der Umwelt abhängig
Fäzes	Kot
Herbivor	Pflanzenfresser
Ingesta	Speisebrei im Verdauungstrakt (inklusive Sekrete und abgesonderten Schleimhautzellen)
Marker	Referenzsubstanz zur Bestimmung von Verdauungsparametern
MRT	„Mean retention time“; mittlere Verweilzeit; hier: Messung der PZ als Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max}
Omnivor	Allesfresser
per os	über das Maul
poikilotherm	wechselwarm
POTZ	„Preferred optimal temperature zone“ (Bevorzugter optimaler Temperaturbereich): die Temperaturspanne, zu der ein Tier am besten funktioniert (MCARTHUR u. BARROWS, 2004a)
Rectum	Enddarm
Supracaudalschild	Das letzte, über dem Schwanz liegende Schild des Rückenpanzers
t_0	Messung der PZ: Zeitpunkt der Verabreichung des Markers
Thermalgradient	Haltungsform mit mehreren Temperaturzonen, bei denen das Tier selbst die Thermoregulation betreiben kann
t_{\max}	Messung der PZ: Anzahl der Tage von der Ingestion (einer einmaligen Markerdosis) bis zum letzten Erscheinen des Markers im Kot
t_{\min}	Transitzeit; Messung der PZ: Anzahl der Tage von der Ingestion (einer einmaligen Markerdosis) bis zum ersten Erscheinen des Markers im Kot

I. EINLEITUNG

Die Magen-Darm-Passagezeit ist ein gängiger, bei einer Vielzahl von Tierarten untersuchter physiologischer Parameter der Verdauung (WARNER, 1981). Sie beschreibt die Transitdauer einer Mahlzeit durch den Verdauungstrakt (KOTB u. LUCKEY, 1972) und wird normalerweise angegeben als Transitzeit oder als mittlere Verweilzeit (MRT) (EHRLEIN, 2005). Typischerweise sind die Passagezeiten bei den einzelnen Gruppen der Wirbeltiere sehr unterschiedlich, wobei sie bei Reptilien allgemein ungefähr 10fach über denen der Säugetiere liegen (STEVENS u. HUME, 1995).

Wissen über die Physiologie der Passagerate von Ingesta ist nötig, um den Verdauungsprozess des Futters zu verstehen (SANTOS et al., 2011), um Verdauungsstrategien, die einem Tier zur Verfügung stehen, zu charakterisieren und um Studien zu Verdaulichkeit oder Nährstoffversorgung planen zu können (WARNER, 1981). Die Kenntnis der Passagezeit-Physiologie trägt nicht nur zum Verständnis der Bewegungen entlang des Verdauungstraktes und des Einflusses von Medikamenten auf diese Bewegungen bei (KOTB u. LUCKEY, 1972), sondern ist auch nötig für die Entwicklung von passenden Dosierungsregimen für orale Medikamente und von Fütterungsschemata (LAWRENCE u. JACKSON, 1982). Außerdem muss die Passagezeit beachtet werden bei der Verfolgung von Fremdkörpern im Magen-Darm-Trakt (MCARTHUR et al., 2004), denn sie hilft bei der Einschätzung, ob ein Ileus vorliegt oder ob Motilität und Durchgängigkeit normal vorhanden sind (VOE, 2014). Die klinische Relevanz hierbei ist offensichtlich, denn die Folgen bei krankhafter Verlängerung der Kotpassage im Darm reichen bis zum Darmdurchbruch und der Intoxikation des Tieres (BAUR, 2008b). Ferner sollte anhand der Länge zur Passagezeit die Vorbereitungszeit für die Überwinterung bei den entsprechenden Arten bemessen werden (ROGNER, 2008). Schlussendlich wird die Passagezeit bei Herbivoren und Omnivoren auch im Rahmen ökologischer Studien ermittelt, um abzuschätzen, wie weit diese Tiere Pflanzensamen verbreiten können (SADEGHAYOBI et al., 2011).

Bei Schildkröten werden in der Literatur eine ganze Reihe an Einflussfaktoren auf die Passagezeit beschrieben. Jedoch gibt es nur sehr wenige Studien zur Passagezeit von *Trachemys scripta* und *Testudo hermanni*, während *Emys*

orbicularis diesbezüglich noch überhaupt nicht untersucht wurde. Zudem wurden fast alle Studien über Passagezeiten bei Schildkröten mit Einzelfuttermitteln oder, bei Landschildkröten, mit einer Mischung aus verschiedenen Gemüsesorten oder Kulturpflanzen durchgeführt. Bisher kam in keiner der Studien eine aus tiermedizinischer Sicht für die jeweilige Tierart dauerhaft zu empfehlende Fütterung zum Einsatz.

Ziel der vorliegenden prospektiven Längsschnittstudie war es daher, grundlegende Daten über die physiologische Magen-Darm-Passagezeit von den in Deutschland häufig in menschlicher Obhut gehaltenen Schildkröten(unter)arten *Trachemys scripta elegans* und *Testudo hermanni boettgeri* sowie von der einheimischen *Emys orbicularis* zu erhalten und die Dauer der Passagezeit bei diesen (Unter)Arten zu ermitteln. Zudem wurde ein möglicher Einfluss der Umgebungstemperatur, Saison (als Kalenderwochen), Fütterung und des Signalelements des Tieres (Körpergewicht, Geschlecht und Alter) untersucht. Hierbei wurde besonderes Augenmerk auf eine möglichst dauerhaft geeignete und artgerechte Haltung und Fütterung gelegt. Damit sollen die Ergebnisse der Anwendung am Patienten dienen, zum Beispiel bei Verdacht auf Fremdkörper im Magen-Darm-Trakt oder im Zusammenhang mit Magen-Darm-Erkrankungen, sowie auch Studienplanungen zur Ermittlung von nötigen Medikamentendosierungen oder beispielsweise vom Nährstoffbedarf der jeweiligen Arten erleichtern.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Systematik und Biologie der einbezogenen (Unter-)Arten

1.1. Taxonomische Einordnung

Weltweit gibt es ca. 330 Schildkrötenarten (BONIN et al., 2007), deren Systematik und Taxonomie uneinheitlich ist und in regelmäßigen Abständen angepasst wird (OBST, 1988; IVERSON, 1992; BOYER u. BOYER, 2006; BONIN et al., 2007). Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Nomenklatur und Artbeschreibung orientiert sich im Folgenden an IVERSON, der 1992 sein Werk zur Vereinheitlichung der Nomenklatur und Systematik von Schildkröten (SK) aktualisiert und erweitert hat (IVERSON, 1992). Die taxonomische Einordnung der in diese Studie einbezogenen SK der (Unter-)Arten *Emys orbicularis*, *Trachemys scripta (elegans)* und *Testudo hermanni (boettgeri)* ist in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1: Taxonomische Einordnung der drei in der Studie verwendeten Schildkrötenarten (nach WILKINSON, 2004a und IVERSON, 1992)

Stamm	<i>Chordata</i>		
Klasse	<i>Reptilia</i>		
Ordnung	<i>Testudines</i>		
Unterordnung	<i>Cryptodira</i>		
Überfamilie	<i>Testudinoidea</i>		
Familie	<i>Emydidae</i>		<i>Testudinidae</i>
Genus	<i>Emys</i>	<i>Trachemys</i>	<i>Testudo</i>
Art	<i>E. orbicularis</i>	<i>T. scripta</i>	<i>T. hermanni</i>
Unterart	Nicht bestimmt	<i>T. s. elegans</i>	<i>T. h. boettgeri</i>

Obwohl es sich bei *T. s. elegans* und *T. h. boettgeri* um Unterarten handelt, wird im Folgenden zur besseren Lesbarkeit i. d. R. von „Arten“ gesprochen.

In den folgenden Beschreibungen der drei in der Studie untersuchten Arten sind zur Nachvollziehbarkeit von genannten Literaturquellen auch synonyme oder „veraltete“ Artbezeichnungen gelistet.

1.2. *Trachemys scripta elegans* (Wied, 1839)

Synonyme Namen:

Chrysemys scripta elegans (Schoepff, 1792) (IVERSON, 1992; BEYNON et al., 1997; UNEP, 2017)

Pseudemys scripta elegans (Schoepff, 1792) (IVERSON, 1992; BEYNON et al., 1997; WYNEKEN et al., 2008)

Testudo scripta (Schoepff, 1792) (IVERSON, 1992)

Emys elegans Wied, 1839 (UNEP, 2017)

Emys holbrookii Gray, 1844 (UNEP, 2017)

Emys sanguinolenta Gray, 1855 (UNEP, 2017)

Trachemys lineata Gray, 1873 (UNEP, 2017)

Red-eared slider (turtle), Red-eared terrapin (IVERSON, 1992; UNEP, 2017)

Rotwangen-Schmuckschildkröte (BONIN et al., 2007; WEGEHAUPT, 2012)

Taxonomische Anmerkung:

Ursprünglich wurden 15 Unterarten von *T. scripta*, der sog. Nordamerikanischen Buchstaben-Schmuckschildkröte, auf dem amerikanischen Kontinent beschrieben, von denen die meisten in den letzten Jahren Artstatus bekommen haben, so dass aktuell nur *T. s. scripta*, *T. s. elegans* und *T. s. troostii* als Unterarten angesehen werden (BONIN et al., 2007; VAN DIJK et al., 2011).

Charakteristische Merkmale:

Bei *T. scripta* sind Jungtiere (und normalerweise auch Adulte) am gelben Plastron (Bauchpanzer) mit dunklen, bilateral symmetrischen Punkten gezeichnet, wobei pro Hornschild jeweils nur ein Punkt vorkommt (IVERSON, 1992; BONIN et al., 2007). Manchmal ragen diese schwarzen Zeichnungen auch über den Rand der



Abbildung 1: *Trachemys scripta elegans* (Männlich)

Schilde hinaus. Die Rippenschilde sind mit gelb-orangen Streifen gezeichnet. Von der Nase aus laufen auf der dunklen Haut sternförmig dünne gelbe Streifen über das Maul und am Hals entlang. *T. s. elegans* zeichnet sich zudem durch ein charakteristisches breites rotes Band hinter dem Auge aus (Abbildung 1) (BONIN et al., 2007). Adulte Männchen sind deutlich dunkler als die Weibchen (manchmal nahezu ganz schwarz) und tragen für die Balz stark verlängerte Krallen an den Vordergliedmaßen (CAGLE, 1946; CUNNINGHAM u. GILI, 1997; BONIN et al., 2007). Außerdem liegt die Kloake der Männchen weiter entfernt vom Plastron (CAGLE, 1946; MCARTHUR et al., 2004). Diese äußeren Geschlechtsmerkmale sind bei den Männchen ab einer Plastronlänge von ungefähr 9 - 12 cm ausgeprägt, während die Weibchen die Geschlechtsreife erst ab einer Plastronlänge von 16,5 bis 20 cm erreichen (CAGLE, 1946; BONIN et al., 2007). Zwischen April und Juli (je nach Breitengrad etwas variierend) sind jährlich maximal 5 Gelege mit durchschnittlich 10 Eiern möglich. Weibliche Tiere können mit 28 cm eine größere Endgröße erreichen als die männlichen (25 cm) (BONIN et al., 2007). *T. scripta* hat auch in freier Wildbahn eine hohe Lebenserwartung von über 30 Jahren (BELS et al., 2008).

Verbreitung und Schutzstatus:

Ihr natürliches Verbreitungsgebiet gibt IVERSON (1992) vom extremen Nordosten von Mexiko bis Ost-New Mexiko bis Alabama an, somit stammt *T. s. elegans* aus gemäßigten Zonen.

T. s. elegans ist sehr populär in der Öffentlichkeit und wird millionenfach aus Farmen z. B. aus den USA exportiert (MCARTHUR, 1996; BONIN et al., 2007; VAN DIJK et al., 2011). SK dieser Unterart scheinen unbegrenzt anpassungsfähig an unterschiedliche ökologische Systeme, daher kommen sie inzwischen in vielen Ländern vor (BONIN et al., 2007). Mittlerweile gelten sie unter anderem als eingeführt in Süd- und Mitteleuropa, dem Nahen Osten, Japan, Indonesien, Asien, Australien und Südafrika (VAN DIJK et al., 2011; UNEP, 2017). Aufgrund ihrer weiten Verbreitung, großen Population und Toleranz gegenüber einer breiten Spanne von Habitaten werden sie von der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) aktuell als nicht gefährdet („least concern“) eingestuft. Sie sind aktuell auch nicht in Anhängen des Washingtoner Artenschutzabkommens (CITES) und der EG-Artenschutzverordnung 338/97 gelistet (Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den

Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels; VAN DIJK et al., 2011; CITES, 2017). Im Gegenteil: sie stehen auf der IUCN/SSC-Liste der 100 schädlichsten invasiven Arten (LOWE et al., 2000), da sie einheimische Arten aus ihren Biotopen verdrängen, wenn sie ausbrechen oder ausgesetzt werden (BONIN et al., 2007; WEGEHAUPT, 2012). Zum Teil werden sie nicht nur als direkte Nahrungskonkurrenten beschrieben, sondern fressen auch die Jungtiere anderer Arten (WEGEHAUPT, 2012). Daher hat die Europäische Union ein Importverbot ausgesprochen, was allerdings zu einem verstärkten Import von Hybriden oder anderen Unterarten geführt hat (VAN DIJK et al., 2011).

Habitat:

Als sehr opportunistische Sumpfschildkröte ist *T. scripta* an einer Vielzahl unterschiedlicher Gewässer zu finden und bevorzugt seichte, schwach fließende, stark bewachsene Gewässer mit Zugang zu reichlichen Sonnenplätzen (BONIN et al., 2007; VAN DIJK et al., 2011). In Europa ist sie häufig auch in der Nähe von Siedlungen oder Erholungsbereichen zu finden (VAN DIJK et al., 2011). Ab einer Wassertemperatur von über 10 °C wird sie aktiv (BONIN et al., 2007). Auch CAGLE (1946) vermutete, dass die erforderliche Minimumtemperatur für die Aktivität dieser Art bei 10 °C liegt, für eine zügige Verdauung sollte die Wassertemperatur aber bei mindestens 18 °C liegen (BONIN et al., 2007). *T. s. elegans* ist semiaquatisch (CUNNINGHAM u. GILI, 1997). Sie lebt tagaktiv in größeren Gruppen und nimmt auch bei hohen Temperaturen ausgiebige Sonnenbäder. Tiere aus südlicheren Habitaten machen zum Teil keine Winterruhe, ziehen sich aber im Sommer zur Ästivation zurück (BONIN et al., 2007).

Ernährung und Fütterung:

T. scripta ist generell omnivor mit einem sehr breiten Futterspektrum (VETTER, 2004; PRÉVOT-JULLIARD et al., 2007; VAN DIJK et al., 2011) und einer Präferenz zu tierischem Futter (CLARK u. GIBBONS, 1969; PARMENTER u. AVERY, 1990; PÉREZ-SANTIGOSA et al., 2011). Zu ihrem Futterspektrum gehören Schnecken, Krebse, Insektenlarven, Kaulquappen, kleine Fische und Wasserpflanzen (PARMENTER u. AVERY, 1990; BONIN et al., 2007), wobei ein kleiner Teil des Futters sogar terrestrischer Herkunft ist (PARMENTER u. AVERY, 1990; PRÉVOT-JULLIARD et al., 2007). *T. scripta* durchläuft einen

ontogenetischen Wandel in der Ernährung (CLARK u. GIBBONS, 1969). Jungtiere müssen sich carnivor (oder zumindest carni-omnivor mit einem Mindest-Eiweißgehalt im Futter von 10% Rp) ernähren, um ihre hohen natürlichen Wachstumsraten zu erreichen, während Adulte hauptsächlich herbivor werden (CLARK u. GIBBONS, 1969; PARMENTER u. AVERY, 1990; BOUCHARD u. BJORNDAL, 2006; BONIN et al., 2007). Dieser Wechsel läuft innerhalb eines Sommers im ersten oder zweiten Lebensjahr ab. Als weitere Erklärungsmöglichkeit für die carnivore Ernährung der Jungtiere könnte auch der hohe Kalziumbedarf der noch wachsenden Jungtiere herangezogen werden, da die tierische Nahrung der Jungtiere (v. a. kleine Insekten) signifikant mehr Kalzium enthält als das pflanzliche Futter der Adulten (CLARK u. GIBBONS, 1969). Daraus resultiert ein Wechsel von nährstoffreichem (tierischem) zu nährstoffarmem (pflanzlichen) Futter (MCCAULEY u. BJORNDAL, 1999). Die ontogenetische Veränderung der Nahrungspräferenz wurde nicht mit einer Veränderung der relativen Verdauungskapazität in Zusammenhang gebracht (BOUCHARD u. BJORNDAL, 2005). Auch ein **saisonalen Wechsel** in der Ernährung ist bekannt, wobei die Tiere sich im Sommer omnivor und im Winter herbivor ernähren. Als Grund dafür sahen PARMENTER u. AVERY (1990) eine Veränderung der Verfügbarkeit von Futtertieren, aber auch eine Art Sättigung des Hungergefühls und der Jagdaktivität im Herbst, so dass die Vegetation für den niedrigeren Energiebedarf ausreichend sein könnte. PRÉVOT-JULLIARD et al. (2007) beschrieben eine Abnahme des Jagdverhaltens bei *T. scripta* mit steigendem Alter und vermuteten gleichzeitig eine zunehmende Aufnahme von Aas.

1.3. *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758)

Synonyme Namen:

Testudo orbicularis / *T. lutaria* Linnaeus, 1758 (LINNÉ, 1758; IVERSON, 1992; UNEP, 2017)

Testudo terrestris Garsault, 1764 (UNEP, 2017)

Testudo europaea Schneider, 1783 (IVERSON, 1992; UNEP, 2017)

Testudo pulchella Schoepff, 1801 (UNEP, 2017)

Emys lutaria taurica Mehnert, 1890 (UNEP, 2017)

Emys europaea concolor / *E. o. punctata* / *E. o. sparsa* Dürigen, 1897 (UNEP, 2017)

Emys orbicularis aralensis Nikolsky, 1915 (UNEP, 2017)

Emys orbicularis luteofusca Fritz, 1989; *E. o. colchica* Fritz, 1994 (UNEP, 2017)

European Pond Turtle, European Pond Terrapin (IVERSON, 1992; UNEP, 2017)

Europäische Sumpfschildkröte (BONIN et al., 2007; WEGEHAUPT, 2012)

Charakteristische Merkmale:

Der Rückenpanzer der Europäischen Sumpfschildkröte ist sehr glatt, dunkel und mit kleinen gelben Punkten gesprenkelt, die manchmal auch strahlenförmig angeordnet sind (Abbildung 2) (BONIN et al., 2007; ROGNER, 2008).



Abbildung 2: *Emys orbicularis* (Männlich)

Mit zunehmendem Alter wird der Panzer fast einfarbig, die gelben Punkte auf der feinen Haut bleiben aber bestehen. Auch die großen, weit vorne sitzenden Augen haben bei den Weibchen eine gelbe Farbe, während sie bei den Männchen rot bis backsteinfarben sind. Die Füße der Hintergliedmaße besitzen ausgeprägte Schwimmhäute (BONIN et al., 2007). Beide Geschlechter haben einen sehr langen (dünnen) Schwanz, die Schwanzbasis ist bei Männchen aber deutlich breiter als bei Weibchen. Das Plastron der Männchen ist konkav gewölbt (BONIN et al., 2007; ROGNER, 2008). In der Körpergröße unterscheiden Männchen und Weibchen sich prinzipiell nicht deutlich (OBST, 1988). *E. orbicularis* wird maximal 21 cm lang, wobei im Nordosten des Verbreitungsgebietes die größeren Tiere anzutreffen sind. Die Ablage von durchschnittlich 5 bis 6 Eiern findet je nach Herkunftsgebiet etwas variierend von Mai bis Juli statt (BONIN et al.,

2007). Die mit 2 bis 5 g besonders kleinen Jungtiere schlüpfen in nördlichen Verbreitungsregionen zum Teil erst im nächsten Frühjahr (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007; ROGNER, 2008). Jungtiere haben einen extrem dünnen und langen Schwanz, welcher durch gegenseitige Bisse oft verstümmelt ist. Außerdem tragen sie noch einen leichten Kiel auf dem Carapax und fein gezahnte Marginalschilde und bekommen ihre Punkte erst nach ein bis drei Jahren (BONIN et al., 2007). Aufgrund der großen morphologischen Variabilität (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007) kann die Unterart eines Tieres ohne Kenntnis über seinen Herkunftsort nicht sicher bestimmt werden (BONIN et al., 2007). Zudem gibt es bis heute noch keinen offiziellen Bestimmungsschlüssel (ROGNER, 2008). Die Kenntnis der Unterart ist allerdings oft nicht relevant (WEGEHAUPT, 2012). *E. orbicularis* gilt als äußerst scheue SK (KAHLE, 1926; WEGEHAUPT, 2012).

Verbreitung und Schutzstatus:

E. orbicularis ist von Portugal bis Irland und bis Litauen, über den Kaukasus und Russland bis in den Nordiran und an den Aralsee weit verbreitet. Auch in Nordwestafrika (Tunesien bis Marokko) ist sie zu finden (IVERSON, 1992; WEGEHAUPT, 2012; UNEP, 2017). Bei manchen Autoren wird sie für Großbritannien (TORTOISE & FRESHWATER TURTLE SPECIALIST GROUP., 1996; UNEP, 2017), Belgien und Luxemburg (TORTOISE & FRESHWATER TURTLE SPECIALIST GROUP., 1996) als eingeführte Art gezählt. Sie ist in deutschsprachigen Ländern die einzige heimische Schildkrötenart, kommt dort aber sehr selten vor (WEGEHAUPT, 2012).

Obwohl *E. orbicularis* von der UNEP bereits in mehreren europäischen Ländern (Belgien, Tschechien, Dänemark, Luxemburg, Niederlande, Schweiz) als ausgestorben deklariert ist, ist sie aktuell in den Anhängen von CITES und der EG-Artenschutzverordnung 338/97 nicht gelistet (Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels; CITES, 2017). Die IUCN listete diese Art allerdings bereits 1996 als „lower risk / near threatened“, was der Vorwarnliste in Deutschland entspricht (TORTOISE & FRESHWATER TURTLE SPECIALIST GROUP., 1996; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2010). KAHLE (1926) rief schon vor knapp 100 Jahren dazu auf, die Europäische Sumpfschildkröte als „Naturdenkmal der deutschen Heimat“ zu erhalten und zu schonen.

Habitat:

E. orbicularis ist eine semi-aquatische Sumpfschildkrötenart, die an Teichen, Seen, Bächen, langsam fließenden Flüssen und Bewässerungs- und Abwasserkanälen lebt (TORTOISE & FRESHWATER TURTLE SPECIALIST GROUP., 1996; ROGNER, 2008; WEGEHAUPT, 2012), wobei sie Habitate mit schlammigem Untergrund wie Sümpfe, Teiche oder Wasserlöcher (BONIN et al., 2007; WEGEHAUPT, 2012) und dichter Vegetation im Wasser und am Ufer bevorzugt (ROGNER, 2008; WEGEHAUPT, 2012). Sie kann stundenlang am Ufer oder auf Baumstämmen sonnenbaden (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007; WEGEHAUPT, 2012). Sie lebt in Gruppen von 10 bis 20 Tieren. *E. orbicularis* hält bei Wassertemperaturen unter 14 °C im Schlamm vergraben Winterruhe und kommt zum Atmen jeweils nach mehreren Tagen oder Wochen an die Wasseroberfläche (BONIN et al., 2007). In wärmeren Gewässern hält sie zum Teil aber keine Winterruhe (KAHLE, 1926; WEGEHAUPT, 2012). ROGNER (2008) beschrieb allerdings, dass *E. orbicularis* auch bereits bei kälteren Temperaturen unter 14 °C aktiv ist und schon früh im Jahr unter dem Eis schwimmend beobachtet werden kann. Daher benötigt sie zwar ähnliche Haltungsbedingungen wie *T. s. elegans*, aber sie verträgt kühlere Temperaturen besser (MCARTHUR, 1996). Auch eine Ästivation ist beschrieben, wobei sich die Tiere im Sommer vor dem Austrocknen ihrer Wasseransammlung tief im Schlamm vergraben, wenn sie nicht in andere Gewässer ausweichen können (WEGEHAUPT, 2012).

Ernährung und Fütterung:

E. orbicularis ist v. a. in den ersten Lebensjahren strikt carnivor und jagt im Wasser kleine Fische, Wasserinsekten und Kaulquappen (BONIN et al., 2007). Auch auf kleine Frösche, Süßwassergarnelen, Lurche, Molche, deren Larven und Schnecken macht sie Jagd (KAHLE, 1926; WEGEHAUPT, 2012). Später wird sie zunehmend omnivor und nimmt auch Wasserpflanzen und Algen auf (BONIN et al., 2007), ihre Hauptnahrung bleibt aber tierisch (z. B. Krebse) (PÉREZ-SANTIGOSA et al., 2011).

1.4. *Testudo hermanni boettgeri* Mojsisovics, 1889

Synonyme Namen:

Testudo hermanni Gmelin, 1789 (IVERSON, 1992)

Testudo graeca bettai / *T. g. hercegovinensis* Linnaeus, 1758 (LINNÉ, 1758; UNEP, 2017)

Testudo hercegovinensis Werner, 1899 (VAN DIJK et al., 2004; UNEP, 2017)

Testudo enriquesi Parenzan, 1932 (UNEP, 2017)

(Eastern) Hermann's Tortoise Boettger (1893) (IVERSON, 1992; UNEP, 2017)

Griechische (Land-)Schildkröte (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007)

Charakteristische Merkmale:

Die beiden Unterarten *T. h. hermanni* und *T. h. boettgeri* sehen sich sehr ähnlich und tragen beide den artcharakteristischen Hornnagel (Tuberkel; Schwanzendnagel) am Schwanzende, durch den sie sich von anderen Landschildkrötenarten unterscheiden (STUBBS, 1989; MCARTHUR, 1996; BONIN et al., 2007; ÖFNER, 2008). Als weiteres Erkennungsmerkmal wird das meist zweigeteilte Supracaudalschild beschrieben (STUBBS, 1989). Manche Autoren unterscheiden gar nicht zwischen den beiden Unterarten (STUBBS, 1989; MCARTHUR, 1996; MCARTHUR u. BARROWS, 2004a). Beide Unterarten zeichnen sich durch eine kontrastreiche Gelb-Schwarzzeichnung mit deutlichen schwarzen Längsstreifen oder gefleckten Bändern auf dem Plastron aus (Abbildung 3), wobei *T. h. boettgeri* tendenziell blasser und grünlicher gefärbt ist.



Abbildung 3: *Testudo hermanni boettgeri* (juvenil)

Als maximale Größe wird für *T. h. boettgeri* von STUBBS bis zu 23 cm und von BONIN bis zu 34 cm angegeben (STUBBS, 1989; BONIN et al., 2007). Die

Geschlechtsreife von *T. hermanni* ist abhängig von der Plastronlänge: sie tritt ungefähr im Alter von 9 - 12 Jahren ein (SASSENBURG u. ZWART, 2015): bei Männchen ab 12 - 13 cm und bei Weibchen ab 15 cm Körpergröße. Die äußeren Geschlechtsmerkmale sind daher bei einer Körperlänge von unter 10 - 12 cm nicht sicher zu identifizieren (STUBBS et al., 1984; STUBBS, 1989). Auch bei *T. h. boettgeri* gelten die allgemeinen Geschlechtsmerkmale von SK, dass der Schwanz bei den Männchen in der Regel kräftiger, dicker und länger ist als bei den Weibchen, und dass die Kloake der Männchen weiter distal in Richtung Schwanzende liegt als bei Weibchen, deren Kloake näher am Körper innerhalb des Carapax liegt (BOYER u. BOYER, 2006; BONIN et al., 2007; JESSOP u. BENNETT, 2010). Die Männchen sind außerdem gewöhnlich kleiner als die Weibchen und an einer konkaven Wölbung des Plastrons erkennbar (MCARTHUR, 1996; ROGNER, 2008). Weibchen sind von oben gesehen tendenziell oval, während die Männchen einen eher birnenförmigen Umriss aufweisen (MCARTHUR et al., 2004).

Verbreitung und Schutzstatus:

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *T. hermanni* erstreckt sich von den Balearen (Spanien) über Südfrankreich und Sardinien, Korsika, Italien, Albanien, Jugoslawien, Griechenland bis in die West-Türkei, Bulgarien und Rumänien (IVERSON, 1992). In Frankreich (UNEP, 2017) und Zypern (VAN DIJK et al., 2004) gilt sie für manche Autoren als eingeführt. Das Verbreitungsgebiet der östlichen Unterart *T. h. boettgeri* ist auf die Bereiche östlich Italiens (Balkan) bis zum europäischen Teil der Türkei beschränkt (BONIN et al., 2007), wobei in Italien beide Unterarten anzutreffen sind (VAN DIJK et al., 2004). Im Gegensatz zu *T. h. hermanni* besiedelt *T. h. boettgeri* zusätzlich zu mediterranen Gegenden auch Gebiete im Landesinneren mit kontinentalem Klimaeinfluss (WEGEHAUPT, 2012).

Die Art kommt regional sehr unterschiedlich häufig vor, es ist aber v. a. im Westen des Verbreitungsgebietes eine Abnahme der Populationsdichte festzustellen, bei hingegen stabileren Populationen in den Balkanländern (VAN DIJK et al., 2004).

T. hermanni ist wie fast alle Testudinidae im Anhang II des Washingtoner Artenschutzübereinkommen CITES (CITES, 2017) und entsprechend bzw. verschärfend auch im Anhang A der EG Artenschutzverordnung 338/97 (zuletzt

aktualisiert im Januar 2017 in der VO (EU) 2017/160) (Verordnung (EU) 2017/160 der Kommission vom 20. Januar 2017 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels) gelistet. Daher sind für sie Ein- und Ausfuhrgenehmigungen nötig und Ausnahmegenehmigungen vom Vermarktungsverbot werden nur nach genauen Vorgaben erteilt (Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels). Trotzdem wird sie v. a. in Europa häufig als Haustier gehalten (BIELLI et al., 2015). In der Roten Liste der bedrohten Tierarten wird sie allerdings nur noch als „near threatened“ (entsprechend der „Vorwarnstufe“ in Deutschland) eingestuft (VAN DIJK et al., 2004; BFN, 2010). In ihrem Verbreitungsgebiet sind aufgrund von steigender Anzahl an Feuern, Habitatszerstörung, Fragmentation oder Absammeln von Tieren zu Handelszwecken langsam aber stetig sinkende Populationszahlen zu vermerken (STUBBS, 1989). Da Europäische Landschildkröten (LSK) zahlreich nachgezüchtet werden, könnte die Nachzucht die Nachfrage für den Haustiermarkt mittlerweile decken (VAN DIJK et al., 2004; SASSENBURG u. ZWART, 2015).

Habitat:

T. hermanni ist eine terrestrische Art (VAN DIJK et al., 2004). *T. h. hermanni* zeigt in Italien eine starke Präferenz für offene Macchia, so dass sie ihre Körpertemperatur v. a. bei kühleren Konditionen konstant über der Umgebungstemperatur halten kann (FILIPPI et al., 2010). VECCHIO et al. (2011) konnten nachweisen, dass *T. hermanni* nur sehr kleine Bereiche des zur Verfügung stehenden Raumes als Habitat auswählt und die restlichen Bereiche ausschließlich durchwandert. Die Habitatwahl hängt dabei hauptsächlich vom Vorhandensein bestimmter Pflanzen (welche keine Hauptfutterpflanzen für sie sind) und von freien Flächen und einer großen Pflanzenvielfalt ab. Griechische LSK bevorzugen somit Saumbiotope zwischen hoher buschiger Vegetation und offenen Stellen (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007; VECCHIO et al., 2011) in allen möglichen Habitatstypen wie Sanddünen mit Macchia oder Garrigue, bewachsene Strände, Ebenen, Flusstäler, Hügelland und bergige Gegenden bis auf 1400 Meter über dem Meeresspiegel (WEGEHAUPT, 2012). Auch in Kulturlandschaften sind sie mittlerweile zu finden (ROGNER, 2008;

WEGEHAUPT, 2012). MCARTHUR (1996) und STUBBS (1989) beschreiben mediterrane immergrüne- und Eichenwälder als eigentlich bevorzugtes Habitat, krautiges Unterholz nur dort, wo keine Wälder mehr vorhanden sind. Zu beachten ist, dass Griechische LSK in ihrem Habitat nicht dem von Wetterstationen erfassten Klima, sondern ihrem bodennahen „Mikroklima“ ausgesetzt sind (ROGNER, 2008; WEGEHAUPT, 2012). Dieses zeichnet sich durch extreme Tag-Nachtschwankungen der Temperatur von über 20 °C aus, die v. a. in den heißen Sommermonaten zu starker frühmorgendlicher Taubildung führt. Dieser Tau bietet nach dem Abtrocknen durch die Windstille in den Wärmeinseln auch tagsüber ein feuchtwarmes Mikroklima für die SK, was über die Atemwege aufgenommen einer Austrocknung des Tieres entgegenwirkt (WEGEHAUPT, 2012). *T. hermanni* vergräbt sich bei Temperaturen unter 14 °C (SASSENBURG u. ZWART, 2015) und überwintert so in ihrem Habitat je nach Region von Oktober bis März (KAHLE, 1926; BONIN et al., 2007). Von Mai bis Juni werden maximal 3 Gelege à maximal 9 Eier vergraben (BONIN et al., 2007). Bei Dürre vergräbt sie sich im Juli oder August zur Ästivation (KAHLE, 1926).

Ernährung und Fütterung:

LSK ernähren sich in der Natur von einer Vielzahl von Pflanzenstoffen (Gräsern, Kräutern, Blättern und Früchten), wobei sie opportunistisch auch Pilze, Insekten, Würmer, Schnecken, Aas oder Kot aufnehmen (KAHLE, 1926; BJORN DAL, 1989; BONIN et al., 2007; VECCHIO et al., 2011). Allgemein sind sie aber als Herbivore anzusehen und sollten möglichst wenig tierisches Material angeboten bekommen (MCARTHUR et al., 2004; BOYER u. BOYER, 2006). Bei *T. graeca* konnten beispielsweise allein 34 verschiedene Pflanzensamenarten im Kot identifiziert werden (COBO u. ANDREU, 1988). Auffallend ist die gründliche olfaktorische Überprüfung möglicher Nahrung vor dem Verzehr, die die Tiere zu gezielter Futterselektion befähigt (KAHLE, 1926).

2. Verdauung von Schildkröten

2.1. Anatomie des Verdauungstraktes

Der Verdauungstrakt der Reptilien wird ähnlich wie bei Säugetieren eingeteilt in Maulhöhle (Cavum oris), Speiseröhre (Ösophagus), Magen (Gaster mit Cardia,

Antrum pyloricum, Corpus und Pylorus), Dünndarm (Intestinum tenue mit Duodenum, Jejunum und Ileum), Dickdarm (Intestinum crassum meist mit Colon ascendens, C. transversum, C. descendens) und Rectum (BAUR, 2008a). Das **Verdauungssystem** von Reptilien ist deutlich angepasst an die jeweilige carnivore, omnivore oder herbivore Diät (GUARD, 1980; OBST, 1988; BAUR, 2008a). Prinzipiell besitzen Carnivore einen strukturell einfachen und Herbivore einen komplexeren Magen-Darm-Trakt (MDT) (GUARD, 1980).

SK haben im Gegensatz zu den anderen Reptilien keine Lippen (SASSENBURG u. ZWART, 2015) oder nicht bewegliche, nicht muskuläre Lippen, die wie bei Vögeln mit Keratin überzogen sind und sich mit dem Hornüberzug der Kiefer zu einem **Schnabel** vereinen (PORTER, 1972). Der scharfe Hornüberzug (von KAHLE, OBST und DENNERT *Hornscheiden*, von ROGNER *Hornschneiden*, von BONE *Hornschnabel* und von BAUR *Ramphothecae* genannt) ersetzt wirksam die fehlenden Zähne und wird zum Ergreifen und Abbeißen genutzt (KAHLE, 1926; GUARD, 1980; BONE, 1997; BONIN et al., 2007; ROGNER, 2008; DENNERT, 2008; SASSENBURG u. ZWART, 2015). Der Hornüberzug überhöht passgenau die knöcherne Grundlage (OBST, 1988; BAUR, 2003), so dass die Kiefer oft die Ausprägung der Hornscheiden vorgeben (DENNERT, 2008). Die Unterkieferäste sind meist zu einem Stück verschmolzen (KAHLE, 1926). Der vogelähnliche Hornschnabel (KAHLE, 1926; DENNERT, 2008) ist manchmal gezahnt und ragt oft als verbreiterte „Kauleiste“ bis in den tiefen Rachenraum hinein (ROGNER, 2008). Bei sehr alten Tieren bestimmter Arten vermutet BAUR hierdurch sogar eine minimale Zermalmung des Nahrungsbissens (BAUR, 2003). Zum Teil ist dieser Schnabel mittig im Oberkiefer zu einer Spitze geformt, die dem Festhalten und Zerreißen dient (BAUR, 2003; ROGNER, 2008). Die Kieferausrprägung lässt Rückschlüsse auf die Ernährungsweise zu. Carnivore Arten haben glatte und scharfrandige Kiefer, die nach dem Scherenprinzip funktionieren, und haben (z. T.) Haken angebildet (OBST, 1988; BAUR, 2003). Omnivore Arten, die zusätzlich auch Blätter (und nicht nur Früchte) fressen, tragen manchmal auf den glatten, scharfen Rändern eine leichte Zähnelung und auf den Oralflächen Leisten zur mechanischen Zerkleinerung. Herbivore Land- und Wasserschildkröten haben auf der facies oralis den jeweiligen Futterpflanzen entsprechende Leisten und Zapfen angebildet. Die Kieformorphologie wandelt sich während der Individualentwicklung (wahrscheinlich aufgrund veränderter Ernährungspräferenzen), so dass die Hornscheiden mit zunehmender Zeit breiter

und weniger scharf werden. So beschreibt BAUR den Oberkiefer von *Trachemys* u.a. als horizontal gerade verlaufend, scharf und hakenlos mit parallel verlaufender, mit zunehmendem Alter des Tieres mäßig gezählelter Leiste und den Unterkiefer als massiv mit starkem rostralen Haken (BAUR, 2003). Bei einigen in Gefangenschaft gehaltenen SK muss der Schnabel regelmäßig gekürzt werden. Er kann aufgrund von Kalziummangel deformiert sein (BOYER u. BOYER, 2006). SK können ihren Kiefer nur wenig bewegen (BONE, 1997).

Die **Zungen** der SK sind allgemein groß und fleischig und können nicht aus dem Maul herausgestreckt werden (BONE, 1997; BOYER u. BOYER, 2006), wobei die Zungen von LSK tendenziell größer, muskulöser, beweglicher und mit einer komplexeren Oberflächenstruktur ausgestattet sind als die Zunge aquatischer SK (WOCHESLÄNDER et al., 1999; BAUR, 2003). Rein carnivore Wasserschildkröten weisen keine Zungenpapillen (und auch keine Drüsen) auf, omnivore und herbivore Land- wie auch Wasserschildkröten jedoch schon. Die Zungenpapillen dienen der geschmacklichen Überprüfung des aufgenommenen Futters. Der **Pharynx** weist bei Meeres-, Weich- und manchen anderen Wasserschildkrötenarten Papillen für den Gasaustausch auf (BAUR, 2008d). Die Maulhöhle aller Reptilien ist mit Zilien-tragenden und schleimsezernierenden Zellen ausgestattet (STEVENS u. HUME, 1995). Vor allem bei den LSK sind großzügig **Speicheldrüsen** wie auch Sublingualdrüsen angelegt, die trockene Nahrungspartikel zum Abschlucken gleitfähig machen (BARBOZA, 1995a; BAUR, 2003).

Die **Speiseröhre** verläuft ventro-medial und verlagert sich bei SK weiter nach links, so dass sie dorsal-links über das Herz zieht (BAUR, 2008c). Sie ist dünn und vergleichsweise fragil (DIAZ-FIGUEROA u. MITCHELL, 2006), drüsenreich und durch ihre Längsfältelung extrem dehnbar, so dass auch relativ große Nahrungsbissen unzerkaut in den Magen gelangen können (PORTER, 1972; STEVENS u. HUME, 1995; DENNERT, 2008; ROGNER, 2008). Die Drüsen der Speiseröhre sezernieren Speichel (BAUR, 2008c). Das bei Reptilien allgemein fehlende **Diaphragma** wird bei SK durch eine membranöse Struktur ersetzt, die Brust- und Bauchhöhle teilweise voneinander trennt (MARCUS, 1983).

Der **Magen** der SK ist simpel (SKOCZYLAS, 1978), liegt links-ventral im Abdomen und ist ausgestattet mit gastroösophagealen und pylorischen Klappen (BOYER u. BOYER, 2006). Über Fundusdrüsen findet Sekretion von Salzsäure

und Pepsinogen homolog zum Säuger statt (GUARD, 1980). Der niedrige pH-Wert im Magen schränkt das Bakterienwachstum ein (SKOCZYLAS, 1978). Bei carnivoren Arten ist der Magen sehr dehnbar (SKOCZYLAS, 1978; BAUR, 2003) und dient sicherlich durch den Einsatz von Pepsin, Salzsäure und Muskelkontraktionen auch der Verdauung (BAUR, 2003). Der Magen der herbivoren SK hat nur eine kleine Kapazität (SKOCZYLAS, 1978), ist sehr muskulös (BARBOZA, 1995a), dickwandig und mit relativ geringer Dehnbarkeit, so dass diese Arten täglich mehrmals kleine Futterportionen aufnehmen müssen (BAUR u. HOFFMANN, 2000).

Verdauungsenzyme werden von Magen, Dünndarm, Pankreas, Leber und Gallenblase produziert (BOYER u. BOYER, 2006). Die Aktivität von chitinolytischen Enzymen wie von einigen Autoren für insektivore Reptilien beschrieben (JEUNIAUX, 1961; SKOCZYLAS, 1978; GUARD, 1980) konnte für *T. hermanni* nicht bestätigt werden (JEUNIAUX, 1961). Bauchspeicheldrüse und Leber sind vergleichbar denen der Säugetiere.

Das **Pankreas** weist einen Corpus und einen Duodenalschenkel auf (BAUR, 2008c), mündet mit einem kurzen Duktus ins Duodenum und hat eine exokrine und endokrine Funktion ähnlich wie bei anderen Wirbeltieren (BOYER u. BOYER, 2006). Es ist bei carnivoren Arten stärker ausgeprägt als bei herbivoren (BAUR, 2008c).

Die **Leber** ist groß, dunkelrot (normalerweise schwarz gesprenkelt oder gestreift durch Melaninpigmente (MARCUS, 1983)) und liegt sattelförmig ventral unter den Lungenflügeln. Sie besteht aus zwei Hauptlappen, die die dorsal gelegene (KÖLLE, 2009) Gallenblase umgeben (BOYER u. BOYER, 2006).

Der **Dünndarm** ist im Vergleich zum Säugetier ähnlich geformt, aber relativ kurz und weniger gewunden (GUARD, 1980; BOYER u. BOYER, 2006). Er absorbiert Nährstoffe und Wasser (BOYER u. BOYER, 2006). Mehrere Autoren beschreiben einen Zusammenhang zwischen der Diät der Reptilienart und der Länge des Dünndarms: Carnivore Tiere haben den längsten Dünndarm, herbivore den kürzesten und omnivore liegen dazwischen. Umgekehrt verhält es sich mit der relativen Länge und vor allem dem Volumen des Dickdarmes (GUARD, 1980; STEVENS u. HUME, 1995; HAILEY, 1997; BAUR, 2003). Der Durchmesser des Dünndarms ist aber relativ konstant über seine gesamte Länge (PORTER, 1972). Der Dünndarm weist vor allem proximal ein deutliches Schleimhautrelief auf (RATHKE, 1848; BAUR, 2003). Die Längsfalten sind dicht aneinander

gereiht und mit Sekundärfalten besetzt, so dass die Resorptionsoberfläche maximal vergrößert wird (BAUR, 2003). Dünn- und Dickdarm sind über eine Ileocaecalklappe oder einen Sphinkter (STEVENS u. HUME, 1995; BOYER u. BOYER, 2006) verbunden.

Ein **Blinddarm** (Caecum) ist bei carnivoren Arten gar nicht entwickelt (Colon simplex) (BAUR, 2003, BAUR, 2008c), während er bei manchen anderen SK-Arten (z. B. *Chelonia mydas*) nur funktionell, aber nicht im eigentlichen anatomischen Sinne existiert (BJORNDAL, 1979). Prinzipiell kann festgehalten werden, dass der Blinddarm mit steigender Herbivorie immer stärker ausgebildet ist (BAUR, 2003).

Der **Dickdarm** (Colon) ist bei SK anatomisch einfach aufgebaut (GUARD, 1980; BJORNDAL, 1989). Meist besonders einfach und rohrartig ist das Colon von carnivoren Arten („Colon simplex“), denn es kann nicht unterteilt werden und weist nur einen unwesentlich größeren Querschnitt als der Mitteldarm auf. Hier wird dann lediglich Wasser zurück resorbiert, so dass der Kot eingedickt wird, ohne fermentative Funktion. Omnivore (und dünndarmfermentierende Herbivore) weisen zusätzlich zum Caecum eine deutliche Verlängerung des Dickdarmes auf. Das Colon der herbivoren SK ist nochmals deutlich verlängert, kann unterteilt werden in ein Colon ascendens, Colon transversum und Colon descendens und gilt als weitleumige Gärkammer für die mikrobielle Fermentation (BAUR, 2003). Es ist auch stärker segmentiert (KAMPHUES et al., 2014). Im Dickdarm findet bei herbivoren SK der Hauptteil der mikrobiellen Fermentation statt (BARBOZA, 1995a; BOYER u. BOYER, 2006). BAUR (2003) resümiert, dass die Bedeutung der Fermentation im Vergleich zur enzymatischen Verdauung mit zunehmender Länge des Colons steigt und dass die Nahrungsspezialisierung der Tiere umso stärker auf Zellulosefermentation ausgelegt ist, je ausgeprägter der Dickdarm ist. BARBOZA (1995a) vermutet, dass der im Vergleich zum Säuger immer noch sehr einfache Dickdarm der LSK für die Aufrechterhaltung einer gesunden Mikrobiota und den maximalen Faserabbau ausreicht und dass Klappen oder Schleimhautfalten die Passage von langen Fasern unnötig verzögern würden. Der Dickdarm endet über ein kurzes Rectum gemeinsam mit Harn- und Genitaltrakt in der komplexen Kloake (BOYER u. BOYER, 2006; BONIN et al., 2007).

Die **Kloake** setzt sich aus dem Koprodaeum (Ende des Verdauungstraktes), dem Urodaeum (Ausführungsgänge des Urogenitaltraktes) und dem Proktodaeum (Sammelstelle vor der Ausscheidung mit Hautepithelauskleidung) zusammen

(GUARD, 1980; BONE, 1997). Des Weiteren besitzen viele SK-Arten als anatomische Besonderheit noch paarige, große und dünnwandige Anal- oder Afterblasen, die vor der Kloake in den Darm münden und durch die Füllung mit sauerstoffreichem Wasser eine „Darmatmung“ ermöglichen (KAHLE, 1926; ROGNER, 2008; BAUR, 2008a). *Emys* spp. und andere Sumpf-SK haben sehr ausgeprägte Analsäcke, die auch als Wasserspeicher dienen. Dieses Wasser kann dann auch bei der Eiablage eingesetzt werden, um den Boden grabfähig zu machen (OBST, 1988).

2.2. Physiologie des Verdauungstraktes

Obwohl es bestimmte anatomische und physiologische Abweichungen zwischen Reptilien und Säugetieren gibt, sind die Anforderungen an den Verdauungstrakt für beide bei vergleichbarer Fütterung und Umgebung ähnlich (GUARD, 1980).

Ein wichtiger Unterschied zum Säuger ist bei SK aber, dass sie nicht kauen, sondern das abgebissene Futter im Ganzen schlucken (BJORNDAL, 1991; BONE, 1997; BOYER u. BOYER, 2006; FRITZ et al., 2010), indem sie die Nahrung mithilfe der Zunge und einer vorwärtsruckenden Kopfbewegung im Maul rachenwärts schieben (DENNERT, 2008). Die Zunge ist besonders wichtig für die **Ingestion** und den intraoralen Transport der Nahrung (WOCHESLÄNDER et al., 1999). GUMPENBERGER et al. (2000) beschreiben bei *T. hermanni* (einer spezialisierten Herbivoren mit langsamer Futteraufnahme) eine komplexe Zungenoberfläche mit langen Papillen und zahlreichen Zungendrüsen, so dass sie ihr Futter mit Hilfe von klebrigem Speichel und einer rauen Oberfläche besser aufnehmen, transportieren und weiterverarbeiten können. Wasserschildkröten (WSK) können nur unter Wasser schlucken (BAUR, 2003; BOYER u. BOYER, 2006). Die Größe des abgebissenen Nahrungspartikels (und ggf. auch eine entsprechende Futterselektion) kann dabei z. B. bei Jungtieren entscheidend die Effizienz der Verdauung beeinflussen (BJORNDAL, 1991; BJORNDAL u. BOLTEN, 1992; SMITH, 1995), da durch eine Reduzierung der Futterpartikelgröße eine verhältnismäßig größere Oberfläche entsteht, an der Verdauungsprozesse ablaufen können (SKOCZYLAS, 1978; BJORNDAL et al., 1990; KING, 1996). In der Folge benötigen herbivore Reptilien im Vergleich zu kauenden Pflanzenfressern viel längere Verdauungszeiten für eine vergleichbare Verdauungseffizienz (BJORNDAL et al., 1990).

Die Funktion der **Speiseröhre** ist hauptsächlich der Weitertransport der Nahrung

aus dem Maul in den Magen (SKOCZYLAS, 1978).

Der **Magen** dient der Speicherung, Durchmischung und Desinfektion des aufgenommenen Futters (BARBOZA, 1995a; SKOCZYLAS, 1978; BAUR, 2003). Hier kommt es zu einer starken Ansäuerung der aufgenommenen Nahrung (BAUR, 2008c) und es findet sowohl eine mechanische Zerkleinerung durch Muskelkontraktionen der Magenwand als auch eine enzymatische Verdauung durch den Magensaft statt (SKOCZYLAS, 1978; DIAZ-FIGUEROA u. MITCHELL, 2006; DENNERT, 2008). Dabei werden unlösliche Futterkomponenten in einfachere wasserlösliche Komponenten umgewandelt (SKOCZYLAS, 1978). Verschiedene Autoren beschreiben das Vorkommen von **Gastrolithen** wie Steinen, Sand oder Knochen im Magen von SK, die meist als Zufallsbefunde bemerkt werden und normalerweise komplikationslos ausgeschieden werden (SKOCZYLAS, 1978; STEVENS u. HUME, 1995; BONE, 1997). Nur eine große Ansammlung von Gastrolithen in Kombination mit klinischen Symptomen wie Inappetenz oder Verstopfung wird als Fremdkörperobstipation gewertet (SASSENBURG u. ZWART, 2015). Die Gastrolithen sind bei einigen Spezies auch als „Mahlsteine“ (OBST, 1988; SASSENBURG u. ZWART, 2015) an der mechanischen Verdauung beteiligt (SKOCZYLAS, 1978), spielen aber wahrscheinlich bei Reptilien keine wichtige Rolle für die Verdauung (FRITZ et al., 2010). BAUR (2008c) bezeichnet jedoch das Vorkommen von Gastrolithen bei anderen Reptilien als Krokodilen als unphysiologisch. Das vorverdaute Futter wird vom Magen in den Dünndarm weitergeleitet (DENNERT, 2008).

Die Verdauungsenzyme entsprechen denen warmblütiger Tiere (KAMPHUES et al., 2014). Das **Pankreas** sezerniert exokrin amylolytische, proteolytische und lipolytische Verdauungsenzyme und Bicarbonat (zur Neutralisation des sauren Mageninhaltes) in den Dünndarm. Sie sind an der Verdauung aller Hauptfutterkomponenten beteiligt (SKOCZYLAS, 1978; MCARTHUR et al., 2004). Die **Leber** kann als (Glykogen-) Speicherorgan für den Winterschlaf dienen (MARCUS, 1983) und spielt wie bei höheren Vertebraten eine Rolle im Fett-, Glykogen- und Eiweißstoffwechsel. Hier kommt es zum Purin-/Nukleotidabbau und zur Ausscheidung von Produkten wie Harnsäure (MCARTHUR et al., 2004). Die **Galle** ist an der Fettverdauung, -resorption (SKOCZYLAS, 1978) und -exkretion beteiligt (DIAZ-FIGUEROA u. MITCHELL, 2006) und weist einen pH-Wert von 7,5 auf (FOX u.

MUSACCHIA, 1959). Da Verdauungsenzyme wie alle **Enzyme temperaturabhängig** wirken und auch die Stoffwechselrate der Drüsen von der Temperatur beeinflusst wird, hängt die Verdauung stark von der Umgebungstemperatur ab (RIDDLE, 1909; SKOCZYLAS, 1978; DENNERT, 2008). Bei Temperaturen unter 20° sistiert die Aktivität der Verdauungsenzyme teilweise (SASSENBURG u. ZWART, 2015). Für die Verdauung im Darm gibt ROGNER (2008) nötige Körpertemperaturen von 25 - 30°C an.

Prinzipiell findet bei allen Nicht-Wiederkäuern im **Dünndarm** die schnelle enzymatische Verdauung und Resorption der Zellinhaltsstoffe (wasserlösliche Kohlenhydrate, Eiweiß und Lipide) statt (BJORNDAL, 1989; BAUR, 2003). Die Zellwände (bestehend aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin), die für das Tier durch seine endogenen Enzyme nicht verdaubar sind, werden demgegenüber langsam im Dickdarm in unterschiedlichem Ausmaß von einer symbiotischen Mikrobiota fermentiert (BJORNDAL, 1989, BJORNDAL, 1989; VAN SOEST, 1994). Die Zellinhaltsstoffe stellen daher bei weniger faserreichem Futter die Hauptenergiequelle dar, während bei langem faserreichen Pflanzenmaterial (mit geringer Futteraufnahme) die Faserverdauung den Hauptteil der Energie liefert (BARBOZA, 1995a). Analog zu den meisten Säugetieren erscheint der Dünndarm bei SK in Sektionen meist ungefüllt („Leerdarm“) (BAUR, 2008c).

Die Kontraktionen der glatten Muskulatur (**Peristaltik**) des MDT ermöglichen eine mechanische Zerkleinerung des Futters (z. B. über Gastrolithen) und eine Durchmischung, so dass im Magen-Darm-Inhalt die für den geschaffenen pH-Wert relevanten Substanzen und die Enzyme verteilt werden und die Ingesta in Kontakt mit der Resorptionsoberfläche von Magen und Darm kommen (SKOCZYLAS, 1978). Vorwärts bewegt werden die Ingesta im MDT über peristaltische Wellen (HUKUHARA et al., 1975; SKOCZYLAS, 1978; BAUR, 2003). Bei Reptilien und Vögeln wurden auch **antiperistaltische Wellen** nachgewiesen, die in Kloakennähe entspringen und Ingesta und Exkrete des Harntraktes im Colon rückwärts transportieren. Somit erzeugen sie eine Retention der Ingesta im Dickdarm mit lokaler Durchmischung von Flüssigkeiten und feinen Partikeln (BARBOZA, 1995a; HUKUHARA et al., 1975; STEVENS u. HUME, 1995). Diese Antiperistaltik könnte bei Herbivoren, die einen geringeren Eiweißgehalt in der Nahrung haben, durch Rückresorption von Stickstoff aus dem Harn (GUARD, 1980) oder weiterem Stickstoffangebot für mikrobielles Wachstum im Caecum besonders wichtig sein. Der Reflux von Ingesta aus dem

Dickdarm in den Dünndarm wird durch Sphinkter oder Klappen verhindert, so dass dort keine Beeinträchtigung der Verdauung oder Resorption stattfindet. Auch ein eventuell vorkommendes Caecum bietet Herbivoren eine zusätzliche Gelegenheit für Ingestaretention und verlangt nach einem Reflux-Mechanismus (GUARD, 1980; STEVENS u. HUME, 1995; BAUR, 2003; ROGNER, 2008). Auch die **Ingestaretention** wird durch Sphinkter, Klappen, Kompartimentbildung und Antiperistaltik bewerkstelligt (GUARD, 1980). Die stärkste Durchmischung von Ingesta findet im Magen und im Colon statt (BARBOZA, 1995a). Bei WSK ist der Magen der Hauptort der Retention (GUARD, 1980). Im Kot sind somit auch Futterpartikel gut durchmischt zu finden, die zeitversetzt gefüttert wurden (BJORNDAL, 1991).

Im **Dickdarm** findet bei den meisten Vertebraten ein verzögerter Transit der Ingesta zur (Rück-)Resorption von Elektrolyten (STEVENS u. HUME, 1995), Wasser und flüchtigen verwertbaren Substanzen statt. Bei vielen Arten dient er zusätzlich als Gärkammer für die mikrobielle Fermentation (BAUR, 2003). Eine große Verdauungskapazität könnte dabei die Fermentation auch von sperrigen Futtermitteln im Dickdarm ermöglicht, so dass auch aus stark lignifizierten Pflanzenteilen genügend Energie zur Deckung des niedrigen Reptilienenergiebedarfes gewonnen wird (BARBOZA, 1995a). Die relativ simple Anatomie des Dickdarmes der SK gewährleistet eine gewisse Spanne an Verdauungsfunktionen, so dass Flexibilität für die Nutzung verschiedener (z. B. saisonal unterschiedlich verfügbarer) Futterpflanzen entsteht (BARBOZA, 1995a; BJORNDAL, 1989). Auf diese Weise können z. B. LSK auf unterschiedliche Futterzutaten (mit unterschiedlichem Verhältnis von Zellwänden zu Zellinhaltsstoffen) durch Anpassung ihrer Futteraufnahme, Passagerate und Verdaulichkeit reagieren, so dass die Effizienz der Nährstoffextraktion maximiert wird (BJORNDAL, 1989). Der Blinddarm (**Caecum**) – sofern vorhanden, Kap. II.2.1 - hat eine ähnliche Funktion wie der Pansen der Wiederkäuer (MCBEE, 1970). Bei SK wird der äußerst dehnbare Blinddarm als Aussackung des vorderen Abschnittes im Dickdarm beschrieben (GUARD, 1980; BAUR, 2003; ROGNER, 2008). Dadurch kann die Nahrungspassage selektiv erfolgen und wird verlangsamt (BAUR, 2003; ROGNER, 2008). Flüssige und feine Partikel können abfließen, während gröbere Faserteilchen als „netzwerkartiges Gebilde“ (Fasergeflecht oder Fasergitter) gesammelt werden. In dieser Form stehen sie der Darmmikrobiota länger zur Bearbeitung zur Verfügung (BARBOZA, 1995a;

BAUR, 2003; ROGNER, 2008). Diese Verlangsamung und Entmischung des Chymus kommt auch bei omnivoren Arten vor, da auch sie ein Caecum haben (BAUR, 2003).

Die Besiedelung des MDT mit symbiotischen **Mikroorganismen** erfolgt kurz nach dem Schlupf aus dem Ei. Der Verdauungstrakt des Wirtstieres bietet den Mikroorganismen eine passende Umgebung und stellt Nährstoffe bereit, während die Mikroorganismen unverdauliche Nahrungsbestandteile in resorbierbare Nährstoffe verwandeln und Schutz vor übermäßigem Wachstum pathogener Keime und durch Immunstimulation bieten. Auch über die Produktion von Proteinen, B-Vitaminen und metabolischen Cofaktoren wird berichtet (GUARD, 1980; STEVENS u. HUME, 1995). Außerdem steuert die Fermentation durch eine günstige Darmmikrobiota fütterungsbedingten Aminosäure- und Fettsäuremängeln durch Produktion von mikrobiellem Eiweiß aus pflanzlichem Material entgegen (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b). Pflanzliche Zellwandbestandteile und Zellulose können nicht durch körpereigene Enzyme abgebaut werden. Sie werden aufgeschlossen durch Enzyme, die von den Mikroorganismen in den Gärkammern produziert werden. Die Hydrolyse der Zellulose verläuft nur langsam und ist zeitabhängig. Der Umfang der Zelluloseverdauung ist daher eng mit der Verweildauer der Ingesta korreliert (ENGELHARDT, 2005). Land- und manche Meeres-SK (z. B. *Chelonia mydas*) können mithilfe der zellulolytischen Mikrobiota im Darm auch Ballaststoffe wie z. B. Zellulose sehr effektiv verdauen (BJORNDAL, 1979, BJORNDAL, 1987, BJORNDAL, 1989; MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; ROGNER, 2008). Dabei erreichen sie dieselbe Effizienz wie herbivore Säugetiere (BJORNDAL, 1979; TROYER, 1984b), aber sie scheinen deutlich langsamer in der Fermentationsrate und im Futterumsatz zu sein (TROYER, 1984b). Im Magen finden sich meist durch den niedrigen pH-Wert und die Aktivität von proteolytischen Enzymen die wenigsten Mikroorganismen, und im Dünndarm wird die Zahl der Mikroorganismen durch die schnelle Passagezeit begrenzt. Daher werden die größten Populationen an Mikroorganismen bei terrestrischen Wirbeltieren im Dickdarm und nur bei manchen Pflanzenfressern im Vormagen beobachtet (STEVENS u. HUME, 1995). Es wird berichtet, dass der Caecuminhalt zu 25 - 50% aus Bakterienzellen besteht (MCBEE, 1970). Die hohe Bakteriendichte wird erreicht durch die Retention der Ingesta und das anaerobe und fast pH-neutrale Milieu (GUARD, 1980). ROGNER (2008) berichtet, dass

Jungtiere manchmal trotz Futteraufnahme aufgrund einer Schädigung der oder eines Mangels an Mikrobiota verhungern. Von der Mikrobiota werden v. a. für den Wirt unverdauliche pflanzliche Zellwände und Fasern (Zellulose und Hemizellulose) fermentiert, so dass flüchtige kurzkettige Fettsäuren entstehen, die als wichtige Energiequelle wieder rückresorbiert werden (BARBOZA, 1995a; BJORN DAL, 1979; GUARD, 1980; BAUR, 2008c). Flüchtige Fettsäuren werden daher als Index für mikrobielle Verdauungsaktivität im Kot oder den Ingesta gemessen, wobei der Gehalt in aboralen Bereichen durch die Resorption wieder abnimmt (GUARD, 1980).

Die Faserverdaulichkeit ist bei Herbivoren ein Maß für die Verdauungseffizienz (SMITH, 1995). Die herbivore Meeres-SK *Chelonia mydas* ist zum Beispiel in der Lage, 83% der Futterzellulose zu verdauen (BJORN DAL, 1979). Auch für *T. s. scripta* (eine nahe Verwandte der *T. s. elegans*) vermutete BJORN DAL (1991), dass sie mikrobielle Fermentation nutzen könne, weil die Zellwände der gefütterten Wasserlinsen im Kot gut aufgeschlossen waren. Der Hauptteil der mikrobiellen Fermentation findet im Dickdarm (BARBOZA, 1995a; BJORN DAL, 1989) oder im Caecum (BJORN DAL, 1979) statt. BJORN DAL u. BOLTEN (1990) wiesen für die herbivore *Pseudemys nelsoni* zusätzlich eine ausgeprägte mikrobielle **Fermentation im Dünndarm** nach. Die Vermutung, dass *Trachemys spp.*, da sie sich trotz wenig ausdifferenziertem Caecum und Colon omnivor ernähren, ähnlich wie *Pseudemys nelsoni* auch mikrobielle Fermentation im Dünndarm betreiben können (BJORN DAL u. BOLTEN, 1990; BAUR, 2003), wurde von BOUCHARD u. BJORN DAL (2005), widerlegt.

Bei einem Mangel an strukturierter Rohfaser, einer Überversorgung mit leicht verdaulichen Zuckern, zu niedrigen Haltungstemperaturen, Infektionen oder z. B. Medikamenteneinfluss kann es leicht zu **Fehlgärungen** im MDT kommen. Dadurch verändert sich die Darmmikrobiota und es kommt zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Verdauung und des Wasserhaushaltes, so dass die Verweildauer des Chymus verändert wird und eventuell eine Tympanie entsteht (BAUR, 2008b).

Überflüssige und unverdauliche Futterteile werden zunächst im Rectum mit Schleim überzogen und dort gelagert, bis sie periodisch als **Kot** ausgeschieden werden (SKOCZYLAS, 1978; BAUR, 2008c). WSK scheiden losen Kot ins Wasser ab, LSK sollten geformten Kot absetzen (JESSOP u. BENNETT, 2010).

3. Ernährung von Schildkröten

3.1. Fütterungsempfehlungen

Die Fütterung von SK in menschlicher Obhut ist bisher ein umstrittenes Fachgebiet, in dem wenig sicher bekannt ist (STAHL u. DONOGHUE, 2002; BOYER u. BOYER, 2006). Einigkeit herrscht darüber, dass die Fütterung so naturnah und abwechslungsreich wie möglich sein sollte (BAUR, 2003; MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; WEGEHAUPT, 2013). Zugang zu frischem Wasser mit Badegelegenheit sollte immer gewährleistet sein (DONOGHUE, 2006; KÖLLE, 2012; WEGEHAUPT, 2013), obwohl die Wasseraufnahme der Tiere auch vom Feuchtigkeitsgehalt der Nahrung abhängt (FRYE, 2003).

Bei Reptilien treten häufig **ernährungsbedingte Erkrankungen** durch falsches Futterangebot auf (CUNNINGHAM u. GILI, 1997; WEGEHAUPT, 2013). Oft treten Mangelerscheinungen aufgrund von ungeeigneten, unausgewogenen Diäten und Exzesse mit Fettleibigkeit oder beschleunigtem Wachstum auf (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b). LSK zeigen eine hohe Akzeptanz für eiweißreiche Nahrung (wie Hunde- und Katzenfutter), diese begünstigt aber die Entstehung von Gicht (JESSOP u. BENNETT, 2010), daher darf sie nur sehr restriktiv eingesetzt werden (BOYER u. BOYER, 2006).

Carnivore SK benötigen hohe Anteile an hochqualitativem Eiweiß und Fett in der Ration (25 – 60 % ME Eiweiß und 30 – 60 % ME Fett) (DONOGHUE, 2006). In der Praxis hat sich zur Einstellung eines günstigen Verhältnisses von Eiweiß, Fett und Rohfaser in der Ration das Mischen verschiedener Zutaten und das anschließende Binden über Gelatine zu einem „Schildkrötenpudding“ (SKP) bewährt. Für SKP existieren zahlreiche (auch tierärztlich empfohlene) Rezepte (BOYER u. BOYER, 2006; HNÍZDO u. PANTCHEV, 2011; KÖLLE, 2012; SASSENBURG u. ZWART, 2015). **WSK** sollten im Wasser gefüttert werden (KÖLLE, 2012).

Omnivore Reptilien beziehen i. d. R. 50 % ihrer Energie aus Kohlenhydraten und je ca. 25 % aus Protein und Fett. Sie sollten als Jungtiere prinzipiell v. a. fleischiges und mit zunehmendem Alter steigende Mengen an pflanzlichem Futter bekommen (DONOGHUE, 2006).

Bezogen auf die Energie ernähren sich **herbivore SK** zu mindestens 50 % von Kohlenhydraten, zu 15 - 35 % von Protein und zu maximal 10 % von Fett bei einem Rohfaseranteil von 15 - 40 % der Trockensubstanz (TS) des Futters

(DONOGHUE, 2006). Daraus ergeben sich folgende Fütterungsempfehlungen: Das Futter für herbivore SK sollte rohfaserreich sein ($> 15\%$ der TS), aber kohlenhydratarm, eiweißarm ($< 10 - 15\%$ der TS) und fettarm ($< 5\%$ der TS). Außerdem sollte das Futter immer kalziumreich ($> 2\%$ der TS) sein mit einem Kalzium-Phosphor-Verhältnis (Ca/P) von 2:1 (TVT, 2004; ROGNER, 2008; KÖLLE, 2009). Zu beachten ist auch, dass die Rohfaser für die Bildung des oben beschriebenen Fasergitters im Caecum (Kap. II.2.2) ausreichend strukturiert sein muss (BAUR, 2008b). Ein zu hoher Fasergehalt in der Nahrung reduziert die Kalorienaufnahme und verringert die Resorption von Spurenelementen (DONOGHUE, 2006). Zurzeit kann die Gabe von kommerziellem Pelletfutter für LSK nicht empfohlen werden, da bei den derzeit angebotenen Sorten der Gehalt an Getreide zu hoch und der Gehalt an Nährstoffen meist zu niedrig ist (JESSOP u. BENNETT, 2010). Die Anforderungen an die Fütterung werden am besten durch heimische Wildkräuter und Kulturpflanzen für landwirtschaftliche Nutztiere wie zum Beispiel durch Kräuter, Blumen und Gräser erfüllt. Meist sind Halter allerdings dazu gezwungen auch Lebensmittel-Grünfutter (wie Gemüse oder Salate) zu verwenden. Dieses hat jedoch im Vergleich zu Naturfutter generell einen höheren Protein- und einen niedrigeren Rohfasergehalt und weist außerdem oft ein inverses Ca/P auf (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; DENNERT, 2008). Allen voran gilt Löwenzahn für die meisten herbivoren SK als exzellentes Futtermittel (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; BOYER u. BOYER, 2006) und wird gemeinsam mit Klee in Mengen von 60 - 70 % der Futterration empfohlen (STAHL u. DONOGHUE, 2002). Folgende **Wildpflanzen** werden u.a. als besonders geeignet empfohlen: Ackersalat, Ackersenf, Ackerwinde, Bärlauch, Bechermalve, Beinwell, Blätter von Bäumen und Sträuchern (Apfel, Birke, Birne, Brombeere, Haselnuss, Himbeere, Johannisbeere, Kirsche, Maulbeere, Pflaume, Rose, Stachelbeere, Weide, Wein), Brennnessel, (Ackerkratz-/Esels-/Gänse-/Kohl-/Lattich-/Marien-/Milch-)Distel, Echte Brunnenkresse, Echte Kamille, Echter Beifuß, Echter Borretsch, Echter Eibisch, Erdbeerblätter, Esparsette, Feldsalat, Fetthenne, Flughafer, Frauenmantel, Gänseblümchen, Giersch, Hibiskus, Hirtentäschel, Holunder, Hopfen, Hornkraut, Hundsrose, Klee, Klette (große), Knoblauchrauke, Knollige Platterbse, Löwenzahn, Luzerne, Pfefferknöterich, Pfennigkraut, Portulak, Rainkohl, Ringelblumenblüten, Rutenmelde, Schafgarbe, Sonnenblumenblütenblätter, Stiefmütterchen, Taubnessel, Thymian (Feld-), Topinambur (auch Knolle), Veilchen, Vogelmiere,

(Spitz-/Breit-)Wegerich, Wegrauke, Wegwarte, (Sommer-/ Zaun-)Wicke, Wiesensalbei, Wiesenschaumkraut, Wilde Möhre und Zaunwinde (zusammengetragen aus: VOGEL, o. J.; DONOGHUE, 2006; DENNERT, 2008; KÖLLE, 2012; WEGEHAUPT, 2013). Zudem ist die Fütterung mit Heu (v. a. Luzerneheu) wertvoll, welches vor der Blüte geschnitten wurde (ROGNER, 2008). Kräuterreiches Heu mit geringerem Gräser- als Kräuteranteil sollte LSK aus ariden Habitaten immer ad libitum angeboten werden, ansonsten empfehlen KAMPHUES et al. (2014) primär Grünfutter. Heu enthält in der Regel 25 - 40 % Rohfaser in der Trockenmasse (TM) (DONOGHUE, 2006). Eine ad libitum Fütterung mit ausschließlich Heu oder getrocknetem Gras ist manchmal zur Deckung des Energie- und Stickstoffbedarfes nicht ausreichend (MEIENBERGER et al., 1993; BROSDA, 2013) und wird v. a. von kleinen Tieren oft nicht gefressen (FRANZ et al., 2011).

Obst sollte nur maximal 5 % der Ration ausmachen (BOYER u. BOYER, 2006), da es eine Laktatazidose und Diarrhoe verursachen kann (DONOGHUE, 2006). Ganz verzichten sollte man auf belastete Wildkräuter von Straßenrändern oder gedüngten oder gespritzten Wiesen und auf oxalatreiche Pflanzen wie Sauerklee, Rhabarber, Ampfer, Rote Beete-Grün, Mangold oder Spinat (ROGNER, 2008; KÖLLE, 2012). Als **giftig** gelten Rhododendron, Kreuzkraut, Eibe, Goldregen (JESSOP u. BENNETT, 2010), Azalee, Tulpen, Narzissen (ROSSI, 2006), Hahnenfuß, Sumpfdotterblume und Kohlgewächse (in größeren Mengen) (KÖLLE, 2012). Eine genaue Auflistung von giftigen Pflanzen(teilen) ist bei DENNERT (2008) zu finden. In der Natur nehmen Herbivore in variablen Mengen auch Pflanzen mit potentiell giftigen Inhaltsstoffen (z. B. Ranunkeln) auf. Über die Gründe hierfür wird bisher nur spekuliert, eine anthelminthische Wirkung ist aber denkbar (LAGARDE et al., 2003; DONOGHUE, 2006).

3.2. Saisonale Änderungen der Ernährung

Die Aktivität und Ernährung von freilaufenden SK unterliegen oft ähnlichen saisonalen Einflüssen wie das Pflanzenwachstum z. B. in Bezug auf die Verfügbarkeit von Wasser, auf die Temperatur, Lichtintensität und Tageslichtlänge (Photoperiode). Bei in Gefangenschaft gehaltenen SK sind diese saisonalen Varianzen vom Tierhalter abhängig (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b) und sollten den Tieren vergleichbar geboten werden (WEGEHAUPT, 2013). Das natürliche Nahrungsspektrum variiert im Laufe des Jahres sowohl

bezüglich seiner botanischen Zusammensetzung im Habitat als auch bezüglich der Inhaltsstoffe der Pflanzen (KÖLLE, 2009). Im Frühling und Herbst kommt es bedingt durch die bessere Wasserversorgung zu vermehrtem Pflanzenwachstum und höherem Feuchtigkeitsgehalt in den Pflanzen (MCARTHUR, 1996; MCARTHUR u. BARROWS, 2004b). So bilden die Kräuter im Frühjahr und Herbst frische Triebe und Blüten, die eiweiß- und kalziumreicher, aber rohfaserärmer sind als im Spätsommer (BARBOZA, 1995a; KÖLLE, 2009; WEGEHAUPT, 2013). Im Sommer bilden die Pflanzen vitamin- und fettsäurehaltige Samen, trocknen ansonsten aber aus, so dass einige SK in eine Ästivation gehen oder nachts oder in der Dämmerung fressen, wenn manche Pflanzen durch den Tau aufblühen (MCARTHUR, 1996; MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; WEGEHAUPT, 2013).

3.3. Futtermenge, Energie- und Nährstoffbedarf

Ausgewachsene carnivore und omnivore SK sollten nur ein- bis dreimal pro Woche gefüttert werden (BOYER u. BOYER, 2006), da Überfütterung normalerweise häufiger Krankheiten verursacht als Futtermangel (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; BOYER u. BOYER, 2006; ROGNER, 2008). Zusätzlich sollte die **Futtermenge** restriktiv zugeteilt werden, d. h. es sollte nur so viel angeboten werden, wie innerhalb weniger Minuten verzehrt wird (KÖLLE, 2012; KAMPHUES et al., 2014). Auch die Jungtierfütterung wird von manchen Autoren nur jeden zweiten Tag empfohlen, wobei die Futtermenge in schnellen Wachstumsphasen zusätzlich reduziert werden sollte. LSK und juvenile Wasser- und Sumpf-SK sollten normalerweise täglich (idealerweise morgens) gefüttert werden (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; KÖLLE, 2012), obwohl auch bei ihnen Überfütterung häufiger auftritt als Unterernährung (JESSOP u. BENNETT, 2010).

Die Stoffwechselraten von Reptilien liegen nur bei ca. 25% derjenigen von Säugetieren (STAHL u. DONOGHUE, 2002). Der **Energiebedarf** zur Erhaltung wird bei SK mit $0,02 - 0,04 \text{ MJ/kg}^{0,75}$ (DEBRAEKELEER, 2002) bzw. $0,05 - 0,06 \text{ MJ ME/kg}^{0,75}$ angegeben und ist damit deutlich niedriger als bei Säugetieren (zum Vergleich: $0,3 \text{ MJ/kg}^{0,75}$ (DENNERT, 2008)). Der Bezug auf das metabolische KG ($\text{kg}^{0,75}$) beseitigt einen Effekt durch die Körpergröße (SCHMIDT-NIELSEN et al., 1980). Die Trockensubstanzaufnahme variiert stark (im niedrigen Bereich) von 0,2 - 1,4 % der KM pro Tag (DENNERT, 2008; KAMPHUES, 2009;

KÖLLE, 2009) und kann von Jungtieren und Adulten an den Nährstoffgehalt des Futters angepasst werden (MCCAULEY u. BJORN DAL, 1999). Für die meisten Reptilien wurden außer in Einzelberichten noch keine **Vitamin- und Mineralstoffbedarfszahlen** ermittelt (ROSSI, 2006): Das Ca/P der Nahrung sollte mindestens 1,5:1 (KASS et al., 1982; CUNNINGHAM u. GILI, 1997) bzw. mindestens 2:1 (besser 3:1 oder noch höher) (SASSENBURG u. ZWART, 2015) betragen. Die Supplementierung der Nahrung mit Kalzium (und ggf. auch Phosphor) wird empfohlen, sobald über längere Zeiträume auf Blattgemüse statt Wildpflanzen zurückgegriffen werden muss (DENNERT, 2008), da Wildpflanzen generell ein hohes Ca/P haben (BARBOZA, 1995b; DENNERT, 2008). Generelle Empfehlungen für Reptilien lauten: Kalzium: 1,8 – 3 mg/kcal oder 0,6 -1,5 % TS (ggf. höher für reproduzierende SK); Phosphor: 0,5 – 0,8 % TS und Vitamin D3 200 – 2000 IE/kg TS (DONOGHUE, 2006) bzw. 500 – 1000 IE/kg TS (KAMPHUES et al., 2014). Empirisch ermittelte Bedarfszahlen für die Vitamine A, D3 und E werden mit 1500 IE, 150 IE und 1,5 mg/ kg KM/ Woche angegeben (DENNERT, 2008). Angaben zum geschätzten Bedarf anderer Nährstoffe gibt es ansonsten bisher nur für die Weich-SK *Pelodiscus sinensis*: Magnesium 970 - 980 mg/kg KG, Kupfer 4 - 5 mg/kg KG, Zink 35 - 46 mg/kg KG, Eisen 120 - 198 mg/kg KG (Eisensulfat) bzw. 266 - 325 mg/kg KG (Eisenzitrat), Vitamin A 2,58 - 3,48 mg/kg KG und Vitamin E 88 IE/kg KG (HUANG u. LIN, 2004; CHU et al., 2007; WU u. HUANG, 2008; CHU et al., 2009; HUANG et al., 2010; CHEN et al., 2014; CHEN u. HUANG, 2015; CHEN u. HUANG, 2015). LAGARDE et al. (2003) beschreiben den Nährstoffbedarf von LSK (*Testudo horsfieldii*) als extrem flexibel, so dass das Überleben auch unter extremen Bedingungen möglich ist.

3.4. Koprophagie

Manche SK fressen wie auch manche Säugetiere eigenen oder auch fremden Kot. Durch diese „**Koprophagie**“ können die Tiere Pflanzenteile gründlicher verdauen und beimpfen sich quasi mit Mikroorganismen, die mit dem Kot ausgeschieden wurden, so dass v. a. LSK-Jungtiere eine gesunde Darmmikrobiota aufbauen können (KING, 1996; DENNERT, 2008). Eventuell stellt Koprophagie auch eine wichtige Quelle für Vitamin K dar, welches erst im Dickdarm von der Mikrobiota hergestellt wird (DENNERT, 2008). Genauere Angaben, bei welchen Arten Koprophagie vorkommt, liegen nicht vor.

3.5. Zellulosefasern

Da Futterbestandteile unterschiedliche Fasern in unterschiedlichen Gehalten enthalten, sind Vergleiche zwischen einzelnen Studien oft schwierig (DONOGHUE, 2006). Hier bestünde über pulverisierte **Zellulose** die Möglichkeit eine gewisse Standardisierung zu erreichen, wenn Futtermittel unterschiedlicher Rohfasergehalte untersucht werden sollen. Zellulose bildet zusammen mit Hemizellulose und Lignin den Rohfaseranteil in der Nahrung. Alle drei stellen Komponenten von pflanzlichen Zellwänden dar (GROSS et al., 2002). Zellulose ist dabei das am häufigsten vorkommende Kohlenhydrat mit Gehalten von 20 bis 40 % der TM aller höheren Pflanzen. Seine Nährstoffverfügbarkeit variiert sehr stark von komplett unverdaulich zu vollständig verdaulich, v. a. in Abhängigkeit vom Lignifikationsgrad, während die Nährstoffqualität jedoch unabhängig von der Lignifikation ist (VAN SOEST, 1994). Außerdem werden Zellulose, Hemizellulose, Pektin, pflanzliche Bindemittel und schwer abbaubare Stärken als Ballaststoffe (Faserstoffe oder Fasern) bezeichnet. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie kaum enzymatisch im Dünndarm verdaut, sondern erst im Dickdarm von Mikroben zu flüchtigen Fettsäuren fermentiert werden. Dadurch helfen sie die normale Darmfunktion zu regulieren und sind durch ihre typischen Fermentationsendprodukte wichtig für die Erhaltung der Darmgesundheit (GROSS et al., 2002). Ob ein Tier die Kohlenhydrate Zellulose, Hemizellulose und Pektin als Futter nutzen kann, hängt von der Kapazität des herbivoren Wirtstieres ab, eine geeignete Mikrobiota aufrecht zu halten und ihre Produkte zu nutzen (VAN SOEST, 1994). Faserstoffe sind sehr wichtig in der Tierernährung und Diätetik: Sowohl unverdauliche oder langsam fermentierbare Faserstoffe (z. B. Zellulose, Kleie oder Erdnussschalen), als auch leicht oder schnell fermentierbare Fasern (z. B. Rübenschnitzel, Apfeltrester, Pektin oder Guar) werden häufig zur Vorbeugung und Behandlung von Diarrhoe, Adipositas, Diabetes, Obstipation und Leber- oder Nierenerkrankungen eingesetzt (MEYER u. ZENTEK, 2010; DILLITZER, 2012b, DILLITZER, 2012a). Bei Hunden verändern Ballaststoffe die Passagezeit je nach ursprünglicher Verdauungssituation: bei Hunden mit schneller Passagerate wird sie verlangsamt, während sie bei Hunden mit normaler oder langsamer Passagezeit beschleunigt wird (GROSS et al., 2002).

Bei Zellulosepulver handelt es sich um ein geschmacks- und geruchsneutrales pulverisiertes Zellstoffgemisch aus verschiedenen einheimischen Laubbäumen,

das als Rohfaserquelle eingesetzt wird. Als gängige therapeutische Dosierung wird bei Hund und Katze 0,5 – 2 g/kg KG/Tag (je nach individueller Verträglichkeit und Einsatzgebiet) angegeben (DILLITZER, 2012c, DILLITZER, 2012a). Zudem werden Faserprodukte (aus Zellulose, Kleie oder Flohsamenschalen) auch bei SK zu therapeutischen Zwecken – jedoch ohne Dosierungsangabe – empfohlen z. B. bei Tieren mit Wundheilung im Dünndarm oder zur Rekonvaleszenz nach Enteritis (DONOGHUE, 2006).

4. Magen-Darm-Passagezeiten von Schildkröten

4.1. Allgemeines zur Magen-Darm-Passagezeit

Die Passagerate bestimmt die Zeit, in der das Futter im Verdauungstrakt zurückbehalten wird (MERTENS, 2005) (zu den Definitionen s. auch Kap. II.4.3). Die Transitzeit des Nahrungsbreis verschafft den indigenen Mikroorganismen die Gelegenheit zur Vermehrung und somit zur Fermentation, so dass die Wasser- und Nährstoffausnutzung des Tieres optimiert sowie die Speichereigenschaft des MDT und die enzymatische Verdauung verbessert wird (GUARD, 1980; WARNER, 1981; STEVENS u. HUME, 1995). Daher hängen Passagezeit (PZ), Verdaulichkeit, mikrobielle Aktivität und fäkaler Wassergehalt direkt voneinander ab (WARNER, 1981).

Die Passagerate der Ingesta wurde bereits bei vielen Tierarten bestimmt, jedoch sind Artvergleiche aufgrund unterschiedlicher Studiendesigns oft schwierig (STEVENS u. HUME, 1995). Grundsätzlich unterscheidet sich die Passagerate zwischen den einzelnen Klassen oder Gruppen der Wirbeltiere, wobei sie bei kleinen Vögeln am kürzesten und bei Reptilien am längsten dauert. Innerhalb der Säugetiere erfolgt die Passage der Nahrung bei kleinen Fleischfressern am schnellsten und bei großen Pflanzenfressern am langsamsten. Die PZ sind bei Reptilien in der Regel sehr lang. Sie betragen typischerweise mehrere Tage und sind damit ungefähr 10fach länger als bei Säugetieren. Gleichzeitig besitzen Reptilien besonders niedrige Stoffwechselraten, lediglich 10% der metabolischen Raten der Säugetiere, und haben somit auch eine niedrige Futteraufnahme (KARASOV et al., 1986; STEVENS u. HUME, 1995). Prinzipiell verlaufen die Verdauungsfunktionen bei Reptilien und Säugetieren aber ähnlich (KARASOV et al., 1986; FRANZ et al., 2011).

Flüssigkeiten passieren den MDT (v. a. den Magen) schneller als Partikel; im Dickdarm vorkommende Mechanismen (v. a. Antiperistaltik) sind bei der Retention von Flüssigkeiten, kleinen Partikeln und Bakterien effektiver als bei größeren Partikeln (STEVENS u. HUME, 1995). Der Vorteil der **selektiven Retention** von Flüssigkeiten und kleinen Partikeln im Caecum von kleinen Dickdarmfermentierern liegt in der schnellen Elimination von großen, schlecht verdaubaren Partikeln aus dem Verdauungstrakt. Damit wird die Füllung des MDT und somit die Beeinträchtigung weiterer Futteraufnahme reduziert und letztendlich eine hohe Verdauungsleistung im Blinddarm erreicht, da sich hier eine hohe Bakteriendichte zusammen mit den am besten verdaulichen Futterpartikeln einstellt (STEVENS u. HUME, 1995). Eine Separation des Darminhaltes in eine flüssige, wässrige oder fetthaltige Phase tritt aber nicht zwangsläufig bei jeder Tierart auf (HATCH u. AFIK, 1999).

4.2. Messung der Passagezeit

Die Transitrates der Ingesta wird normalerweise gemessen durch die einmalige Markierung einer Futterportion mit einer Markersubstanz („pulse dose“), welche per os verabreicht oder gefressen wird und später im Kot, der regelmäßig gesammelt wird, wieder auftritt und detektiert wird (ZIMMERMAN u. TRACY, 1989; VAN SOEST, 1994; STEVENS u. HUME, 1995). Solche Marker werden in der Literatur auch als Fäkal-Marker (FULLER et al., 2011), Indikatoren, Tracer, Referenz- oder Indexsubstanzen bezeichnet (KOTB u. LUCKEY, 1972). Als Markersubstanzen geeignet sind Stoffe, die vom MDT weder sezerniert noch verdaut, resorbiert (STEVENS u. HUME, 1995) oder metabolisiert werden, so dass sie vollständig in den Ingesta oder im Kot wieder auftreten. Außerdem muss ein idealer Marker inert (ohne toxischen, psychologischen oder physiologischen Effekt, z. B. ohne Einfluss auf Sekretion, Verdauung, Resorption, Motilität oder Exkretion des Verdauungstraktes) (KOTB u. LUCKEY, 1972), ungiftig für das Magen-Darm-Mikrobiom und in den Ingesta und im Kot leicht erfassbar sein (STEVENS u. HUME, 1995). Ferner sollte der Marker physikalisch den normalen Ingesta entsprechen (GUARD, 1980), sich gut mit dem Futter mischen und auch vermischt bleiben. Er darf nicht nur in beträchtlichen Mengen verabreicht werden müssen (KOTB u. LUCKEY, 1972). Je nach Art des verwendeten Markers werden teilweise etwas unterschiedliche Passagezeiten ermittelt (VAN SOEST, 1994; STEVENS u. HUME, 1995; MEYER, 1998), z. B. werden flüssige Marker

schneller ausgeschieden als partikuläre (GUARD, 1980), was beachtet werden sollte und die Interpretation kompliziert macht (VAN SOEST, 1994). Es gibt keinen Marker, der alle diese Kriterien ideal erfüllt, aber wie tolerierbar der entstandene Fehler ist, hängt von der Fragestellung und vom jeweiligen Einsatzgebiet ab (OWENS u. HANSON, 1992). Ein solcher Fehler ist häufig nicht gravierend, wenn nur Schätzwerte der Passagezeiten ermittelt werden sollen (WARNER, 1981).

Infolge einer einmaligen Markierung einer Futterportion kommt es nach dem ersten Erscheinen des Markers im Kot zu einem Anstieg der Markermenge bis zur maximalen Markerkonzentration im Kot und daraufhin zu einer asymptotischen Abnahme, wie es in Abbildung 4 für Wiederkäuer dargestellt ist. Ähnliche Kurven entstehen auch bei anderen Tieren (VAN SOEST, 1994).

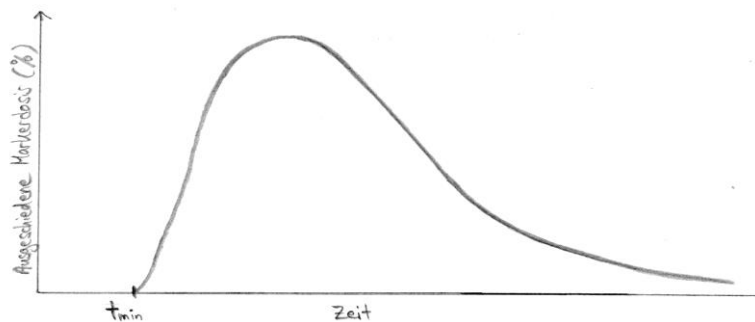


Abbildung 4: Beispiel der Markerexkretion nach einmaliger Markergabe (beim Wiederkäuer) (vereinfacht nach VAN SOEST (1994))

Da die Partikelgröße die Passage (beim Wiederkäuer) auf komplexe Weise beeinflusst, wird bei Gabe von nur einer Markersubstanz nur die Passage derjenigen Fraktion gemessen, die ihm von der Partikelgröße und Dichte am meisten entspricht (VAN SOEST, 1994).

4.3. Passagezeit-Definitionen und Passagezeiten

Es gibt zahlreiche Begriffe in der Literatur, mit denen die Passagerate eines unverdaulichen Markers durch den Verdauungstrakt beschrieben wird (KOTB u. LUCKEY, 1972; VAN SOEST, 1994). Die Begriffe wurden jedoch oft uneinheitlich definiert und verwendet, so dass die Bedeutung unklar ist und jedes Mal neu festgelegt werden muss (KOTB u. LUCKEY, 1972; WARNER, 1981). Einen groben Überblick über verwendete Begriffe und Definitionen soll Tabelle 13 im Anhang geben.

Die Begriffe „Passage“, „Transit“ und „Retention“ werden im Allgemeinen

synonym eingesetzt und bezeichnen den Fluss der Ingesta durch den MDT (KOTB u. LUCKEY, 1972; VAN SOEST, 1994). Die „Passagerate“ gibt an, wie lange bestimmte Ingestaportionen im MDT zurückgehalten werden und so der Durchmischung, Verdauung, Fermentation, Resorption usw. unterliegen (WARNER, 1981).

An dieser Stelle soll v. a. auf die Definition der Begriffe, wie sie in der vorliegenden Studie verwendet werden, Bezug genommen werden. Der Zeitpunkt der Verabreichung des Markers wird in der vorliegenden Studie „ t_0 “ genannt. Für den Transport durch den MDT werden hier wie üblich die **Transitzeit**, nämlich die Zeit von der Ingestion bis zum ersten Erscheinen des Markers im Kot (da es sich hierbei um den minimalen Teil der PZ handelt, im Folgenden auch als „ t_{\min} “ bezeichnet) und die **mittlere Verweilzeit** (mean retention time „MRT“), also die Zeit bis zum Wiederfinden der mittleren Markermenge, erfasst (EHRLEIN, 2005). Es muss aber beachtet werden, dass beispielsweise die Transitzeit zwar normalerweise definiert wird als Beginn der Markerausscheidung, dass die verschiedenen Autoren aber unterschiedliche Zeitpunkte dafür festsetzen. So verwenden MCMASTER u. DOWNS (2008) dafür z. B. den Zeitpunkt der Detektion (im Sinne von Sichtbar-Werden) des ersten Markers im Kot, während VAN SOEST (1994) die Transitzeit definiert als Zeitpunkt der erstmaligen Messung von 5 % des Markers im Kot. Andere Autoren definieren sie als Zeitpunkt der ersten Detektion des Markers im Kot, nennen sie stattdessen aber beispielsweise „ t_0 “ (WARNER, 1981) oder „digestive turnover time“ (PARMENTER, 1981).

Die PZ wurde in der vorliegenden Studie visuell und nicht quantitativ ermittelt und damit in ähnlicher Weise wie in anderen Studien mit visueller Kotbeurteilung zur Bestimmung der PZ (THROCKMORTON, 1973; HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983; TROYER, 1987; DAVENPORT et al., 1992; LIESEGANG et al., 2001; MCMASTER u. DOWNS, 2008). Daher wurde die gängige Bezeichnung „**MRT**“ aus der Literatur (Anhang Tabelle 13) zwar beibehalten, um leichter als Vergleichsparameter zu dienen, sie wurde aber wie bei COBO u. ANDREU (1988) errechnet als Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max} . Die Messung der MRT wird meist als vergleichbar mit anderen Messungen einer mittleren Passagezeit z. B. der 50% Exkretionszeit (t_{50}) (KARASOV et al., 1986) oder der medianen Retentionszeit (HAILEY, 1997) angesehen. Die maximale PZ, t_{\max} , wurde vorliegend definiert als die Anzahl der Tage von der Ingestion einer

einmaligen Markerdosis bis zur letzten Markerausscheidung (HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983).

Die akkurate Bestimmung der t_{\max} (bei WARNER beispielsweise „ t_{100} “, bei PRYOR u. BJORN DAL (2005) „total clearance time“ (TCT) genannt, Tabelle 13 Anhang) ist genauso schwierig wie die der t_{\min} , da kleine Markermengen eventuell für sehr lange Zeit zurückgehalten werden (WARNER, 1981; HAILEY, 1997; VALENTE et al., 2008). Die Transitzeit (t_{\min}) ist wichtig zur Abschätzung der Nutzungseffizienz einer gegebenen Futtermenge (KOTB u. LUCKEY, 1972).

Es gibt bereits Studien zu PZ einer Vielzahl von SK-Arten. Einen Überblick liefert die folgende Tabelle 2. Weitere PZ (z. B. von Meeres-SK) sind beispielsweise zu finden bei BJORN DAL u. BOLTEN (1990), BJORN DAL u. BOLTEN (1993), BRAND et al. (1999) und AMOROCHO u. REINA (2008).

Tabelle 2: Übersicht über in der Literatur ermittelte Magen-Darm-Passagezeiten bei Schildkröten

Schildkrötenart	Anzahl (n) ^a	Körpergewicht oder Plastronlänge	Temperatur ^b (°C)	Futter ^c	Marker ^d	t _{min} ^e	MRT ^e	t _{max} ^e	Quelle
Carnivor									
<i>Caretta caretta</i>	16 sa, 6 j	4,4 - 22,2 kg	16,27 – 23,86	Fisch (Seehecht+ Sardine, 1:1) alle 48 h 1,5 - 2,5 % des KG	10 – 20 bunte Farbmarker aus 5 mm weichem flachen Schaumstoff	9,05 +- 3,05 (5-16) d	12,0 +- 4,53 (5-20) d	T ₈₅ : 13,19 +- 4,64 (5-21) d	VALENTE et al. (2008)
<i>Chelydra serpentina</i>	2 (je 3x)	125 - 434 g (60 – 88 mm PL)	23 – 27	(ad lib.) Fisch, dann Hackfleisch	Hackfleisch	31 +- 5,3 h (SE)			PARMENTER (1981)
Omnivor									
<i>Chrysemys picta belli</i>	4 (je 2x)		30	(enthält Regenwürmer)	Flüssig (Polyethylenglykol oder BaSO ₄)		35 h		GUARD (1980)
<i>Chrysemys picta belli</i>	4 (je 2x)		30	(enthält Regenwürmer)	Partikel (Polyethylen Ø 2,2 mm) 2/5/10 mm lang		56/57/60 h		GUARD (1980)
<i>Chrysemys picta</i>	9 (7 m, 2 w) (je 3x)	273 - 431 g (121 - 136 mm PL)	23 – 27 bzw. 16 - 34	(ad lib.) Salat, dann Hackfleisch	Hackfleisch	59 +- 4,0 h (SE)			PARMENTER (1981)
<i>Emydura macquarii</i>	Je 4 (je 1 m + 3 w)	26,9 - 30,2 cm [#]	1) 20 2) 30	a) Fisch b) Pflanzen (Jeden 3. Tag ad lib.)	Plastikmarker (1 und 5 mm)	1a) 89 +- 6 h 1b) 260 +- 10 h 2a) 70 +- 3 h	1a) 106 – 166 h 1b) 280 – 443 h 2a) 38 – 134 h		SPENCER et al. (1998)

				für 24 h)		2b) 118 +- 8 h	2b) 146 – 192 h*		
<i>Kinixys spekii</i>	6	1,1 +- 0,2 kg	30	Kohl	Polyesterfäden	2,2 +- 0,4 d	4,5 +- 1,0 d		HAILEY (1997)
<i>Kinixys spekii</i>	1) 6 2) 9 3) 7	0,36 – 1,33 kg	30	1) Blätter 2) Pilze 3) Tausendfüßler	Polyesterfäden	1) 2,2 +- 0,2 d 2) 2,8 +- 0,4 d 3) 6,5 +- 1,3 d	1) 4,7 +- 0,8 d 2) 3,7 +- 0,4 d 3) 7,2 +- 1,2 d		HAILEY (1998)
<i>Sternotherus minor</i>	1	95 g (59 mm PL)	23 – 27	(ad lib.) Fisch, dann Hackfleisch	Hackfleisch	57 h			PARMENTER (1981)
<i>Sternotherus odoratus</i>	1	76 g (58 mm PL)	23 – 27	(ad lib.) Fisch, dann Hackfleisch	Hackfleisch	49 h			PARMENTER (1981)
<i>Trachemys (Pseudemys) scripta scripta</i>	31 (15 m, 14 w, 2 j) (je 3x)	99 – 1597 g (76 - 201 mm PL)	23 – 27	(ad lib.) Salat, dann Hackfleisch	Hackfleisch	61 +- 2,8 h (SE)			PARMENTER (1981)
<i>Trachemys scripta scripta</i>	5 m (je 2 x pro Futter)	1,4 – 1,6 kg (17,6 – 19,2 cm PL)	24 – 27 (Spot 31)	1) Wasserlinsen 2) Larven 3) gemischt 77% Wasserlinsen + 23% Larven	1 Stück Plastik („plastic flagging“)	1) 72 +- 26 h 2) 71 +- 15 h 3) 85 +- 7 h			BJORNDAL (1991)

Herbivor

<i>Batagur baska</i>	Je 3	140 – 200 g	30 +- 2	1) Fischabfall 2) Wasserspinat	Chromoxid (visuell)	1) 72 h 2) 96 h		1) 120 h 2) 144 h	DAVENPORT et al. (1992)
<i>Chelonia mydas</i>	12	500 – 900 g	25	Fischfutterpellets (48,5% Protein) 0,5-1% des KG (48 h nüchtern, dann 2x bis t _{max})	Chromoxid (visuell)			176 +- 16 h	HADJICHRISTO PHOROU u. GROVE (1983)
<i>Chelonoidis nigra</i>	18 m (je 4 - 6/ Gruppe)	66 – 180 kg	Ø 23,3 – 28,1	Tannia, Korallenbaum, natürlicher Bewuchs (3x wöchentlich ad lib.)	Fruchtsamen (Papaya, Guave, Passionsfrucht) Plastik-/ Nylon- /Polyacetalteilchen	6 – 13 d	6 – 20 d (M50) (Modus: 12 d)	7 – 27 d	SADEGHAYOBI et al. (2011)

<i>Chelonoidis porteri</i> (<i>Testudo elephantopus porteri</i>)	2 j	5,75 – 13 kg	Outdoor (kälter als im natürlichen Habitat)	Gemischte Kost (u.a. Salat und Gras)	1) Karminrot 2) Tomatensamen (visuell)	1) 11 d 2) 11 d		1) 15 d 2) > 21 d	RICK u. BOWMAN (1961)
<i>Geochelone carbonaria</i>	4 (je 2x)		20 – 55	n. g.	Flüssig (Polyethylenglykol oder BaSO ₄)		< 48 h		GUARD (1980)
<i>Geochelone carbonaria</i>	4 (je 2x)		20 – 55	n. g.	Partikel (Polyethylen Ø 2,2 mm) 2/5/10 mm lang		270/ 285/ 363 h		GUARD (1980)
<i>Geochelone carbonaria</i>	m + w: 1) 4 2) 7 3) 4	0,4 – 4,8 kg	22 – 32	1) Guave 2) Mango 3) Wandelröschen (<i>Lantana</i>) (85% der normalen FA)	Fluoreszentpigment (partikulär) (visuell)	1) 2,6 +- 1,0 d 2) 6,6 +- 1,2 d 3) 9,5 +- 1,7 d			BJORNDAL (1989)
<i>Geochelone denticulata</i>	m + w: 1) 5 2) 8 3) 5	0,5 – 6,6 kg	22 – 32	1) Guave 2) Mango 3) Wandelröschen (<i>Lantana</i>) (85% der normalen FA)	Fluoreszentpigment (partikulär) (visuell)	1) 3,6 +- 0,9 d 2) 4,8 +- 1,3 d 3) 8,7 +- 1,9 d			BJORNDAL (1989)
<i>Geochelone gigantea</i>	1) 5 2) 4 3) 2 4) 8	20 – 30 kg	1) Jan. 2) Juni 3) Sept. 4) n. g.		Bunte Papiermarker		1) 6 +- 2,8 d 2) 30 +- 10,7 d 3) 49,4 +- 38,5 d 4) 23,5 +- 11,9 d (Ø 27,2 d)		COE et al. (1979)
<i>Geochelone nigra</i>	4 j		23	Käse, Heu, Kräuter, Gemüse	Karminrot (visuell)	8 d		18 d	LIESEGANG et al. (2001)

<i>Geochelone nigra</i>	1) 3 m, 1 w 2) 4 j: 1 m, 3 w	1) 99,5 - 207 kg 2) 6,1 – 12,3 kg	1) 21,3 +- 2,6 2) 23,2 +- 1,0	1) Gras (frisch + getrocknet), Blätter, Gemüse, Obst, Hüttenkäse 2) Gras, Kräuter, Blätter, Gemüse, Hüttenkäse	Co-EDTA (flüssig), Cr-Beize (Faser Partikel <2 mm), n-Alkan- Hexatriacontan (C ₃₆)		1) 222 +- 30 – 290 +- 20 h (ca. 12 d) 2) 198 +- 23 – 222 +- 25 h (ca. 8-9 d)		HATT et al. (2002)
<i>Geochelone pardalis</i>	5	3,4 +- 1,3 kg	30	1) Kohl 2) Gras	Polyesterfäden	1) 3,8 +- 1,5 d 2) 5,5 +- 1,5 d (SE)	1) 5,9 +- 2,4 d 2) 5,9 +- 1,4 d (SE)		HAILEY (1997)
<i>Gopherus polyphemus</i>	7 (m + w)	3,3 – 7,9 kg	20,5 – 30,5 (+Spot)	Getrocknete Blätter von <i>Aeschynomene americana</i> (eingeweicht) (TS 0,22 % des KG)	In vitro unverdauliche Zellwände	13 d (10 – 16; SA 2,8 d)			BJORNDAL (1987)
<i>Podocnemis expansa</i>	10	2,595 +- 3,22 kg			70 % BaSO ₄ + 30 % Öl (10 ml/kg)	15 d	22,5 d	29 d	SANTOS et al. (2011)
<i>Testudo graeca</i>	1 m, 1 w	m: 350 g w: 440 g	Ø 14 – 20,5		BaSO ₄	14 d		m: 25 d w: 28 d	HOLT (1978)
<i>Testudo graeca</i>	1 m, 1 w	m: 632 g w: 825 g	Mai bis Juli	Obst/Gemüse	Diverse Samen (nacheinander)		Ø 5,3 d (Ø 3 – 8,5 d)		COBO u. ANDREU (1988)
<i>Testudo hermanni</i>	18 w	1,485 (1,090 - 1,960) kg	1) 15,2 2) 21,5 3) 30,5 °C ^{tb}	Nüchtern (Gras, Gemüse, Obst bis 24 h vor Markergabe)	Gastrografin	1) 17,3 (8-24) h 2) 6,6 (3-8) h 3) 2,6 (1,5-4) h			MEYER (1998)
<i>Testudo hermanni</i>	8	1500 +- 400 g	23 - 26	Heu, Kräuter, Apfel, Karotte, Salat	Karminrot (visuell)	8 d		12 d	LIESEGANG et al. (2007)
<i>Testudo pardalis</i>	3 m, 3 w	m: 3-5 kg w: 11-21 kg	Ø 29 (+ Spot)	Nüchtern (8 d)	BaSO ₄ (nach Immobilisation)	153 (144 – 166) h			TAYLOR et al. (1996)
<i>Xerobates agassizii</i>	8		31 +- 2	Wildkräuter	Chromoxid		9,55 +- 1,31 d		BARBOZA (1995a)

<i>Xerobates agassizii</i>	2		31 +- 2	Pellets (faserarm)	Chromoxid		6,73 +- 0,22 d		BARBOZA (1995a)
<i>Xerobates agassizii</i>	13 (5 j, 3 m, 5 w) (je 1 - 3x)	250 - 3100 g	14,7 – 37,6	ad lib.: 1) Krautige Pflanze (<i>Erodium cicutarium</i>) eingefroren 2) Gras (<i>Schismus barbatus</i>) getrocknet	Bunte Plastikstreifen	1) 17,8 d (11 – 13) 2) 21,8 d (14,5 – 33)			MEIENBERGER et al. (1993)
Frugivor									
<i>Chelonoidis chilensis</i>	1 m, 8 w (18x)		Ø 22	Reife Wildfrüchte	Samen von Wildfrüchten		8,0 +- 1,9 d (3 - 19)		VARELA u. BUCHER (2002)

Magen-Darm-Passagezeiten bei verschiedenen Schildkrötenarten.

^a n = Anzahl an untersuchten Tieren. Dabei bezeichnet „m“ männlich, „w“ weiblich, „sa“ subadult und „j“ juvenil (sofern gegeben); x = Anzahl der Durchgänge

^b Temperatur = Umgebungstemperatur, sofern nicht anders angegeben; ^{tb} = Körpertemperaturen; Jan = Januar (Regenzeit), Juni (Trockenzeit), Sept. = September (späte Trockenzeit), n. g. = nicht gegeben

^c ad lib. = Fütterung ad libitum (in unbeschränkter Menge zur freien Verfügung); FA = Futteraufnahme

^d BaSO₄ = Bariumsulfat, Co = Cobalt, Cr = Chromium

^e t_{min} = Transitzeit (Ingestion bis erste Markerausscheidung); MRT = mittlere Verweilzeit; t_{max} = Eliminationszeit (Ingestion bis letzte Markerausscheidung); h = Stunden, d = Tage; T₈₅ = Zeit, bis zur Ausscheidung von 85% der aufgenommenen Marker; Angaben mit +- bezeichnen die Standardabweichung (SA), *bei SPENCER ist der Durchschnitt +- Standardabweichung getrennt für beide Markersubstanzen angegeben. Aus den gegebenen Werten wurde hier zur besseren Lesbarkeit die Maximalspanne errechnet

[#] Carapaxlänge (kein Stockmaß)

4.4. Einflussfaktoren auf die Passagezeit von Reptilien

Die PZ wird von vielen Faktoren beeinflusst, u.a. von der **Temperatur** - von SKOCZYLAS präzisiert in Umgebungstemperatur und Körpervorzugstemperatur (SKOCZYLAS, 1978; BOYER u. BOYER, 2006; ROGNER, 2008), von der temperaturabhängigen Sekretionsrate von Verdauungssäften und Enzymaktivität (SKOCZYLAS, 1978), von der **Fütterung** (Futterart bzw. chemischer Zusammensetzung z. B. Wasser- und Rohfasergehalt (SKOCZYLAS, 1978; STEVENS u. HUME, 1995; MCMASTER u. DOWNS, 2008), Futtermenge bzw. -volumen (SKOCZYLAS, 1978; ROGNER, 2008), Fütterungsfrequenz, Wasser- und Fasergehalt der Nahrung (LAWRENCE u. JACKSON, 1982; BOYER u. BOYER, 2006; ROGNER, 2008), Partikelgröße (BARBOZA, 1995a; STEVENS u. HUME, 1995) und Partikeldichte (STEVENS u. HUME, 1995)), von der **Saison** (COE et al., 1979), von der **Tierart** (KAMPHUES et al., 2014) mit ihren jeweiligen anatomisch-physiologischen Einflussfaktoren wie der Länge, Kapazität und Motilität des Verdauungstraktes (SKOCZYLAS, 1978), dem Verhältnis von Dickdarm zu Dünndarm und der **Verdaulichkeit** (BJORNDAL, 1989), eventuell auch vom **Signalement** des Tieres wie Geschlecht (SADEGHAYOBI et al., 2011), Alter bzw. Körpergewicht (MEIENBERGER et al., 1993; PRYOR u. BJORNDAL, 2005), von der **Aktivität** der SK (ROGNER, 2008; BAUR, 2008d; DENNERT, 2008) und ihrem physischen und mentalen Status (SKOCZYLAS, 1978) oder von **individuellen Faktoren** (HAILEY, 1997; MCMASTER u. DOWNS, 2008). Selbst der gewählte **Marker** kann ihre Messung beeinflussen (STEVENS u. HUME, 1995; LONG et al., 2010). Selbstverständlich können auch **krankhafte Veränderungen** die Dauer der Ingestapassage beeinflussen. So wurde von der Verkürzung der PZ einer LSK durch Diarrhoe auf 3 bis 5 Tage (LAWRENCE u. JACKSON, 1982) und von Veränderungen durch Fehlgärung (BAUR, 2008b) berichtet.

Alle diese Einflussfaktoren erschweren die Vergleichbarkeit von ermittelten Passagezeiten (SKOCZYLAS, 1978) und auch ihren klinischen Nutzen (MANS, 2013). Auf einige der beschriebenen Einflussfaktoren, die für die vorliegende Arbeit besonders relevant sind, soll im Folgenden genauer eingegangen werden:

4.4.1. Temperatur

Die Temperatur hat auf die poikilothermen oder genauer gesagt ektothermen Reptilien einen besonders starken Einfluss (RIDDLE, 1909; SKOCZYLAS, 1978; MARCUS, 1983). Reptilien sind zwar durch verschiedene Mechanismen in der Lage, ihre Körpertemperatur in einem engeren Spektrum als die Umgebungstemperatur zu halten, jedoch erreichen sie dadurch keine Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur (SKOCZYLAS, 1978). So beeinflusst die Umgebungstemperatur die Körperkerntemperatur, die Aktivität (z. B. Futterbeschaffung oder auch die Aktivität der Verdauungsenzyme), Verdauung, Nährstoffresorption und die metabolische Rate (DONOGHUE, 2006; KAMPHUES et al., 2014). Es gibt für viele Reptilienarten eine Idealtemperatur für Aktivität, eine niedrigere für Ruhe und eine noch niedrigere für den Winterschlaf, so dass auch in der Haltung ein Temperaturwechsel nötig ist (MARCUS, 1983). Allgemein gilt: Bei Temperaturen zwischen 10 und 15 °C sind Verdauung und Stoffwechsel stark verlangsamt, die Futteraufnahme wird eingestellt und das Tier wird inaktiv. Bei Temperaturen unter 7 – 8 °C findet keine Verdauung mehr statt und das Tier fällt in den Winterschlaf (SKOCZYLAS, 1978; MCARTHUR u. BARROWS, 2004a; BONIN et al., 2007; HNÍZDO u. PANTCHEV, 2011). Innerhalb des Toleranzbereiches eines Tieres erhöht sich sein Metabolismus und die Sekretionsrate der Verdauungsenzyme mit steigenden Temperaturen (RIDDLE, 1909; SKOCZYLAS, 1978). Die Verdauungsgeschwindigkeit ist im Temperaturvorzugsbereich des Tieres am schnellsten, wird jedoch wieder verlangsamt, wenn die Temperatur weiter auf die höchsten tolerierten Bereiche steigt (SKOCZYLAS, 1978). Außerdem reduzieren zu hohe Temperaturen stressbedingt die Futteraufnahme und führen zu Gewichtsverlust (STAHL u. DONOGHUE, 2002). Es kann auch zur Überhitzung mit Schädigung von inneren Organen kommen (HNÍZDO u. PANTCHEV, 2011). Für die meisten SK-Arten (u.a. *T. hermanni* und *T. scripta*) sind 41 °C (39 – 42,3 °C) die kritische Maximalkörpertemperatur (PORTER, 1972), jedoch wurde für *T. s. elegans* bereits 37 °C als Grenze beschrieben, oberhalb derer (und unterhalb von 10 °C) keine Futteraufnahme und somit auch kein Wachstum mehr stattfindet (CAGLE, 1946).

Reptilien zeigen im Bereich ihrer bevorzugten Körpertemperaturzone (= „Vorzugstemperatur“ oder „preferred optimal temperature zone“: „POTZ“) bei **höherer Körpertemperatur** schnellere Verdauungsraten (SKOCZYLAS, 1978;

PARMENTER, 1980), eine höhere Futteraufnahme (AVERY et al., 1993; DENNERT, 2008), ausgeprägtere Magensäure- und Enzymsekretion (RIDDLE, 1909; WRIGHT et al., 1957), schnellere Magenentleerungszeiten (FOX u. MUSACCHIA, 1959), verstärkte Magen- und Darmmotorik (SKOCZYLAS, 1978) und somit eine verkürzte Magen-Darm-PZ (PARMENTER, 1981; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989; SPENCER et al., 1998; SADEGHAYOBI et al., 2011). Sobald die Temperatur unter die POTZ der jeweiligen Spezies fällt, leert sich der MDT kaum noch oder gar nicht (JESSOP u. BENNETT, 2010) und der Vorschub eines Ingestabulus ist verlangsamt, obwohl die Peristaltik noch erhalten bleibt, wenn Säuresekretion und Verdauung schon eingestellt sind (FOX u. MUSACCHIA, 1959). Die Magenmotorik kann innerhalb einer halben Stunde durch Aufwärmen der SK wieder hervorgerufen werden, die Futteraufnahme jedoch nicht (PATTERSON, 1932). Bei Zwangsfütterung bei zu kalten Haltungstemperaturen kann es deshalb zu Fäulnis im MDT mit Intoxikation des Tieres (MEYER, 1998) oder zu häufig tödlichen Ösophagus- oder Magenüberladungen kommen (HARLOW et al., 1976).

Die Diskussion über **optimale Haltungstemperaturen** für die einzelnen SK-Arten ist noch nicht abgeschlossen (LIESEGANG et al., 2007). Klar ist: die Temperaturoptima sind artspezifisch und z. T. sogar individuell unterschiedlich und können nicht beliebig zwischen den Arten übertragen werden (MCARTHUR u. BARROWS, 2004a; BONIN et al., 2007). *T. hermanni* beispielsweise ist über eine breite Spanne der **Körpertemperatur** aktiv (MEEK, 1988), obwohl sie sich im natürlichen Habitat (hier: Frankreich) 30 °C Körpertemperatur erhält, sobald passende Konditionen geboten sind (HUOT-DAUBREMONT et al., 1996). *T. s. elegans* hat im Thermalgradienten eine ähnliche durchschnittliche Körpertemperatur von 29,1 °C, aber mit einer sehr großen Spanne (19 – 39 °C) (GATTEN, 1974a). Die (Körper-)Vorzugstemperatur für LSK wird daher von 26 – 38 °C und für WSK von 25 – 35 °C angegeben. Die **Umgebungstemperatur** sollte - ergänzt durch einen Wärmespot aus 50- bis 150-Watt-Glühlampen - je nach Spezies bei 24 – 32 °C liegen, z. B. für WSK bei 24 – 28 °C (BOYER u. BOYER, 2006). Manche Autoren konkretisieren das. So werden für mediterrane LSK 20 – 32 °C Umgebungstemperatur (davon 25 – 30 °C tagsüber) als ideal vermutet. Für *T. s. elegans* wurden je nach Studie unterschiedliche Temperaturbereiche ermittelt: 20 – 29 °C (davon 24 – 29 °C tagsüber) (MCARTHUR u. BARROWS, 2004a), 20 – 22 °C (CUNNINGHAM u. GILI, 1997), 21 °C, wenn man die

Bewegungsaktivität als Maß nimmt (CAGLE, 1946) oder 22 – 30 °C (tagsüber) (MADER, 2006). Allgemein wird für Reptilien eine Nachtabenkung von bis zu 5 °C empfohlen (CUNNINGHAM u. GILI, 1997; MADER, 2006). Im Spotbereich der Wärmelampe sollten 35 °C (MADER, 2006) bzw. 40 °C (MCARTHUR u. BARROWS, 2004a) erreicht werden.

Trachemys weisen eine weite Temperaturkomfortzone auf, da sie bei 18 °C noch fast genauso effektiv Futter aufnehmen, wie bei 30 °C (BELS et al., 2008; genaue Art nicht genannt). In der Natur betreiben Reptilien Thermoregulation durch (auch saisonal) unterschiedliches Verhalten (PORTER, 1972; TRACY et al., 2006). Wenn sie die Möglichkeit zum Sonnenbaden haben, können sie ihre Körpertemperatur leicht auf 30 °C einstellen. Dadurch werden Verdauungsprozesse und letztlich auch die PZ optimiert (PARMENTER, 1981) und mit gesteigerten Energiekosten durch eine höhere Körpertemperatur ausgeglichen (TRACY et al., 2006).

4.4.2. Saison

Die **Sekretion** von Verdauungssäften (wie Salzsäure und Enzyme) und die **Resorption** schwanken saisonal (RIDDLE, 1909; SKOCZYLAS, 1978). Dadurch ist die Verdauungsrate der SK im Sommer größer als im Frühling (RIDDLE, 1909). Auch der **Metabolismus** des Tieres variiert je nach Saison, somit übt die Saison auch indirekt einen Einfluss auf den Verdauungstrakt aus (SKOCZYLAS, 1978; MCARTHUR et al., 2004). Es wird außerdem ein jahreszeitlicher Effekt auf die **Frequenz des Kotabsatzes** genannt (BAUR, 2008d). Die saisonalen Veränderungen beim Wachstum der **Futterpflanzen** wurden bereits unter II.3 beschrieben. Obwohl die meisten SK mit einer 12 Stunden Tag-Nacht-Lichtphase gut zurechtkommen (JESSOP u. BENNETT, 2010) und diese auch in den meisten Studien gängig ist (z. B. THROCKMORTON, 1973; HAILEY, 1997; HAILEY, 1998; LEI, 2006; MCMASTER u. DOWNS, 2008), empfehlen manche Autoren die Wärme- und Lichtzufuhr für SK möglichst saisonal zu variieren (ROSSI, 2006; JESSOP u. BENNETT, 2010). Auf jeden Fall sollte die Saison (z. B. der Kalendermonat) beim Studienprotokoll Beachtung finden (COE et al., 1979; MANS, 2013), auch wenn nicht immer ein signifikanter Einfluss messbar ist (VALENTE et al., 2008).

4.4.3. Fütterung

Im Allgemeinen haben **herbivore** Tiere bei vergleichbarer Körpergröße längere PZ als **carnivore** (KARASOV et al., 1986; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989). Entsprechendes gilt auch für die Fütterung einer rein pflanzlichen oder rein fleischhaltigen Diät an **omnivore** Tiere (SPENCER et al., 1998). Generell beschleunigt eine erhöhte **Futteraufnahme** die Passage sowohl von Flüssigkeiten als auch von Partikeln (BARBOZA, 1995a; MEIENBERGER et al., 1993; VAN SOEST, 1994; EHRLEIN, 2005; MCMASTER u. DOWNS, 2008; DENNERT, 2008), während eine Fastenzeit von zwei Tagen die Passage v. a. im Darm deutlich verzögert (HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983). Daher wird das Level der Futteraufnahme sowohl innerhalb einer Art als auch zwischen den Arten als eine Hauptdeterminante der MRT bei Reptilien und Säugetieren angesehen (FRANZ et al., 2011). Bei gleicher Futtermenge und Futterart beschleunigt eine höhere bzw. kontinuierliche **Fütterungsfrequenz** die Passage bei Säugetieren, Vögeln (WARNER, 1981) und Reptilien (HARLOW et al., 1976; HAILEY, 1998). Im Gegenzug verzögert eine längere **Struktur der Rohfaser** die Verweildauer der Ingesta im Darm durch die Bildung des physiologischen Fasergitters im Caecum (Kap. II.2.2). Von dessen Oberfläche aus können die Darmsymbionten Zellulose besser fermentieren und es kann auch effizienter Wasser rückresorbiert werden, so dass es zu optimaler Formung vom Kot kommt (BAUR, 2008b). Ebenso kann es bei sehr **faserreichen Diäten** trotz erhöhter Futtermenge zu einer Verzögerung der Retentionszeit kommen. Bei Herbivoren könnten lange Retentionszeiten die maximale Fermentation von Futter-Fasern ermöglichen (BARBOZA, 1995a). Daher hängen die PZ, die Verdaulichkeit und die Futteraufnahme auch direkt voneinander ab (BJORNDAL, 1989; MCMASTER u. DOWNS, 2008). Bei Säugetieren beschleunigt ein erhöhter Rohfasergehalt die Passage (WARNER, 1981). Die MRT ist unterschiedlich für **flüssige oder feste** Nahrungsbestandteile (EHRLEIN, 2005): Der Einfluss der **Partikelgröße** auf die PZ ist umstritten: VAN SOEST (1994) erklärt allgemein, dass feine Faser-Partikel beim Nicht-Wiederkäuer aufgrund der fehlenden Filtereinrichtungen im unteren Verdauungstrakt und aufgrund der kleineren Ingestamenge (und somit höheren Dichte) die Passagerate verlangsamen. Dagegen argumentiert BARBOZA (1995a), dass große Partikel bei der Wüsten-SK *Xerobates agassizii* länger zurück behalten werden, da sie im Dickdarm als Fasergeflecht im Bolus fließen, durch welches feine Partikel oder Flüssigkeiten

durchgedrückt werden und auch GUARD (1980) und SPENCER et al. (1998) beschreiben, dass die Passage kleiner (und flüssiger) Ingestabestandteile schneller verläuft. HATT et al. (2002) fanden einen leichten selektiven Retentionseffekt (2 mm große Partikel wurden langsamer ausgeschieden als Flüssigkeiten), aber nur bei adulten und nicht bei Jungtieren von Riesen-SK. Ein steigender **Rohproteingehalt** in der Nahrung kann bei *T. scripta* den positiven Effekt steigender Umgebungstemperaturen (von 28 auf 34 °C) auf die Futteraufnahmearten synergistisch verstärken, während die Rohproteingehalte alleine keinen Effekt auf die Futteraufnahmearten haben (AVERY et al., 1993).

4.4.4. Körpergröße und Alter

Auch der Einfluss des Körpergewichtes (KG) sollte bei der Interpretation von Ingestapassagen berücksichtigt werden (MEIENBERGER et al., 1993; PRYOR u. BJORNDALE, 2005). Die PZ werden bei Reptilien und Säugetieren mit steigender Körpergröße (bei ähnlicher Fütterung; in derselben Wirbeltierklasse) länger (KARASOV et al., 1986). Je **größer** ein Individuum ist, desto stärker nimmt der Metabolismus ab und die Verdauungsphase wird deutlich verlängert (SKOCZYLAS, 1978). Bei vielen Arten verläuft die Passage bei **jüngeren** Tieren entsprechend schneller (WARNER, 1981), was vielleicht durch eine höhere Körpertemperatur jüngerer Tiere bedingt sein kann (TROYER, 1984a). Außerdem wurde beobachtet, dass frei weidende Jungtiere der Art *Geochelone gigantea* z. T. andere Futterpflanzen bevorzugten als Adulte und daher auch gehäuft in anderen Arealen anzutreffen waren (GIBSON u. HAMILTON, 1983). Auch die Resorption, Verteilung und Exkretion von Medikamenten läuft bei kleinen Tieren häufig schneller ab (BEYNON et al., 1997). FRANZ et al. (2011) halten das Futteraufnahmelevel und Variationen im Metabolismus verschiedener Arten aber für wichtigere Einflussfaktoren auf die Ingestaretention als die Körpermasse.

PARMENTER (1981) vermutete bei Reptilien den gegenteiligen Einfluss des Alters (und damit der Körpergröße), konnte allerdings in seiner Studie mit 31 *T. scripta* keinen Effekt der Körpergröße auf die PZ finden. Ein Größeneinfluss sollte seiner Vermutung nach allerdings erkennbar sein, wenn auch Schlüpflinge mit betrachtet werden oder bei Arten mit ausgeprägtem Größenunterschied zwischen Jungtieren und Adulten (z. B. Galapagos- oder Meeres-SK). Bei einer Untersuchung an Galapagos-SK (*Geochelone nigra*) wurde aber ebenfalls kein Unterschied in der MRT zwischen Jungtieren und Adulten gefunden, obwohl nur

die adulten Tiere eine selektive Retention von Partikeln < 2 mm zeigten (HATT et al., 2002). Eine Beobachtung, die auch VAN SOEST (1994) bereits gemacht hat: tendenziell werden Partikel von größeren Tieren länger zurückbehalten. Auch in weiteren Studien zeigte sich die PZ (zumindest größtenteils) unabhängig vom KG der SK (BJORNDAL, 1987, BJORNDAL, 1989; BJORNDAL u. BOLTEN, 1992; MEIENBERGER et al., 1993; VALENTE et al., 2008).

4.4.5. Geschlecht

Trotz geäußerter Vermutungen, dass zwischen den Geschlechtern aufgrund des Lebenswandels und der z. T. unterschiedlichen Körpergröße Unterschiede in der PZ bestehen können (SADEGHAYOBI et al., 2011) und trotz der größeren Aktivität von weiblichen Tieren (unabhängig vom Reproduktionsstatus) (DOODY et al., 2002), konnte bei zwei LSK-Arten kein Unterschied in der PZ, Verdaulichkeit und Massen-spezifischen-Futterraufnahme zwischen den Geschlechtern gefunden werden (BJORNDAL, 1989). Auch mit der metabolischen Rate und Herzfrequenz besteht hier keine konsistente Variation (GATTEN, 1974b). Ebenso konnten in Bezug auf die Ernährung und Wahl der Futterpflanzen bei LSK keine Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren festgestellt werden (GIBSON u. HAMILTON, 1983; VECCHIO et al., 2011).

4.4.6. Intra- und interindividuelle Schwankungen

Selbst unter stark kontrollierten Bedingungen bestehen beträchtliche intra- und interindividuelle Schwankungen, also Schwankungen innerhalb eines Tieres bzw. zwischen den einzelnen Tieren einer Art in der PZ. Diese sind als normale Variabilität der erhaltenen Werte zu sehen. WARNER (1981) gibt dabei Größenordnungen der Variation intraindividuell von ca. 15% und interindividuell von ca. 21 % (bei Wildtieren) an. Mehrere Studien bestätigen das Auftreten der z. T. beträchtlichen (inter-)individuellen Unterschiede in der Dauer der Passage (HAILEY, 1997; MCMASTER u. DOWNS, 2008; SADEGHAYOBI et al., 2011). Auch bei PARMENTER (1981) wurde die Varianz, die durch eine Schwankung der Umgebungstemperatur von ± 2 °C entstand und die Messgenauigkeit der PZ beeinträchtigte, von der interindividuellen Schwankung signifikant übertroffen.

4.4.7. Stress

Mögliche Ursachen für Stress stellen bei Reptilien das Fangen, Festhalten, Handling, falsche Haltungstemperaturen, Futter- oder Wassermangel, manchmal Kontakt zu Artgenossen oder sogar nur das Betreten des Raumes durch einen Menschen dar (MACKAY, 1968; WILKINSON, 2004b; DONOGHUE, 2006; DENARDO, 2006). Selbst ein nur einminütiges Handling (Messen der kloakalen Körpertemperatur) verursachte eine Tachykardie und eine Art stressinduziertes Fieber durch gezieltes Aufsuchen einer Wärmequelle bei SK (CABANAC u. BERNIERI, 2000). Stressantworten führen zu einer großen Spanne an z. T. dramatischen physiologischen Veränderungen (DENARDO, 2006) und können u.a. negative Auswirkungen auf den Stoffwechsel und auf die Futteraufnahme haben (STAHL u. DONOGHUE, 2002). Umgekehrt kann eine reduzierte Futteraufnahme bereits als Stressanzeichen gelten (DONOGHUE, 2006). Stress durch falsche Haltung (v. a. falsche Haltungstemperaturen) oder falsche Fütterung (z. B. zu große Futtertiere) führt bei allen Reptilien häufig zu einer dann stressbedingten Gastritis. Außerdem kann (sub)akuter Stress (wie auch Maldigestion und Dysbakterie aufgrund falscher, meist zu kalter Haltungstemperatur) Durchfall verursachen (BAUR, 2008b). Als weitere Folge von Stress kann die Frequenz des Kotabsatzes verändert sein (BAUR, 2008d). Kurzzeitiger Stress führt zwar nicht zwangsläufig zu längerfristigen Problemen (LAWTON, 1997), aber er kann trotzdem Messergebnisse in Studien beeinflussen (CASH et al., 1997; ROMERO u. REED, 2005; VALENTE et al., 2008).

5. Chromoxidgrün

Chromoxid wurde in vielen Studien als **Marker** für das Abschätzen der Passagerate der Ingesta eingesetzt (STEVENS u. HUME, 1995) und ist dabei die am häufigsten eingesetzte unlösliche anorganische Substanz (VAN SOEST, 1994). Bei Chromoxid handelt sich um ein grünes Pulver, das auch Chrom(III)oxid (Cr_2O_3) oder Dichromtrioxid genannt wird (nicht zu verwechseln mit dem kanzerogenen Chromtrioxid) (IFA, 09.12.2016). Dieses Pulver ist sehr fein, schwer und unlöslich. Aufgrund seiner Partikelgröße und Dichte verhält es sich in wässrigen Suspensionen ähnlich wie Bariumsulfat. Es zählt zu den Metalloxiden (VAN SOEST, 1994) und somit zu den anorganischen Stoffen (KOTB u. LUCKEY, 1972) und wird - wenn überhaupt - nur sehr wenig über den

Verdauungstrakt in den Körper aufgenommen, so dass es nahezu vollständig über die Fäzes ausgeschieden wird (KOTB u. LUCKEY, 1972; KAMPHUES, 2009; IFA, 09.12.2016). Daher wird es im Allgemeinen als inert gewertet (KOTB u. LUCKEY, 1972; VAN SOEST, 1994; IFA, 09.12.2016) und als bewährter fäkaler Marker bei Mensch und Tier eingruppiert (KOTB u. LUCKEY, 1972; LOEHLEIN et al., 2003). Selbst bei hoher Dosierung (bis zu 180 g/kg KG oral) wurde bei Ratten weder ein Einfluss auf hämatologische und biochemische Parameter noch auf Futteraufnahme oder Körpergewicht festgestellt (IFA, 09.12.2016). Bis auf sehr geringe Konzentrationen (0,04 %) ist Chromoxid gleichzeitig sichtbar und messbar (NORCONK et al., 2002). Metalloxide gelten generell als taugliche Marker für den Ingestafluss (OWENS u. HANSON, 1992).

Die Angaben in der Literatur über die **Verteilung** von Chromoxid in den Ingesta sind widersprüchlich. Während manche Autoren sagen, dass Chromoxid sich mit der flüssigen Fraktion verbindet (VAN SOEST, 1994; NORCONK et al., 2002), beschreiben andere, dass es sich aufgrund seiner Unlöslichkeit wie sehr kleine feste Partikel einer Größe von unter 2 µm verhält (VERGARA et al., 1989). Teilweise wird auch die Ansicht vertreten, dass es insofern eine Sonderstellung unter den Markern belegt, als es sich nicht spezifisch in der flüssigen oder partikulären Phase der Ingesta verteilt (FAICHNEY, 1972). Die **Ausscheidung** von Chromoxid verläuft - unabhängig von der Frequenz der Chromoxidgabe an t_0 - wie die anderer Marker (Kap. II.4.2) nicht gleichmäßig, sondern es gibt eine Hauptphase der Ausscheidung, gefolgt von einer längeren Phase mit sehr geringer Ausscheidung (PIGDEN u. BRISSON, 1956). Auch BARBOZA (1995a) beschreibt die Ausscheidung von Chromoxid bei Wüsten-SK als (futterartabhängig) pulsartig.

Dosierungen von Chromoxid werden angegeben mit ca. 2 % der geschätzten Futter-TS (NORCONK et al., 2002), 0,5 – 4 % (gesammelt bei KREULA, 1947; KOTB u. LUCKEY, 1972; HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983; HAILEY, 1997; LEI, 2006) bzw. 5 – 10 % der Futter-oS (DAVENPORT et al., 1992).

III. TIERE, MATERIAL UND METHODEN

1. Studientiere

Im Zeitraum vom 25. 11. 2012 bis zum 24. 12. 2012 und vom 07. 01. 2013 bis zum 02. 12. 2013 wurden 280 Magen-Darm-Passagen von insgesamt 34 Tieren dreier SK-Arten aus dem Bestand der „Auffangstation für Reptilien München e. V.“ („Reptilienauffangstation“) bestimmt. Es handelte sich um 13 *Trachemys scripta elegans* (*T. s. elegans*; Rotwangen-Schmuckschildkröten), 8 *Emys orbicularis* (*E. orbicularis*; Europäische Sumpfschildkröten; Unterart nicht bestimmt); und 13 *Testudo hermanni boettgeri* (*T. h. boettgeri*; Griechische LSK). Die Arten wurden ausgewählt, weil sie in Deutschland besonders häufig gehalten werden und im Falle der *E. orbicularis* sogar als heimisch anzusehen sind.

In die Untersuchungen wurden ausschließlich klinisch gesunde SK nach Erhebung des Vorberichtes und einer klinischen **Allgemeinuntersuchung** (basierend auf den üblichen Standardmethoden aus dem Protokoll der Reptilienauffangstation, JACKSON u. LAWTON, 1997 und SASSENBURG u. ZWART, 2015) eingeschlossen. Zuerst wurde das Verhalten und Allgemeinbefinden jeder SK begutachtet. Anschließend wurde jede SK insbesondere auf einen guten Zustand der Haut und des Panzers ohne Verfärbungen, frische Verletzungen oder Wunden und auf Umfangsvermehrungen inspiziert. Auch die Nasen- und Ohröffnungen, die Maulschleimhaut und Kloake wurden kontrolliert. Die Augen mussten klar sein und ohne Lidschwellungen, Augenausfluss oder Rötungen. Ein weiteres **Einschlusskriterium** war die freiwillige Aufnahme des mit dem Marker Chromoxid eingefärbten Futters. Dieses Einschlusskriterium wurde bestimmt, nachdem eine WSK sich zwar an den SKP gewöhnt hatte, aber über mehrere Tage die Aufnahme des grün gefärbten Marker-SKP verweigerte. Dieses Tier wurde in der Eingewöhnungsphase durch ein anderes ersetzt. Alle anderen Tiere fraßen das Futter mit Marker genauso gut wie das ohne Marker. Außerdem musste vor Beginn der Studie eine eventuell nötige anthelminthische Behandlung abgeschlossen sein. Ausgeheilte andere Erkrankungen oder alte Panzerverletzungen führten nicht zum Ausschluss aus der Studie. Aufgrund der vorhandenen Unterbringungsmöglichkeiten wurden entsprechend den „Mindestanforderungen an die Haltung von Reptilien“ der Sachverständigengruppe tierschutzgerechte Haltung von Terrarientieren des

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) („Mindesthaltungsanforderungen“) SK mit einer Bauchpanzerlänge von über 20 cm aus der Studie ausgeschlossen (SACHVERSTÄNDIGENGRUPPE TIERSCHUTZGERECHTE HALTUNG VON TERRARIENTIEREN, 1997).

Die Tiere wurden in die **Alters**-Kategorien „juvenil“ (juv) oder „adult“ (ad) eingeteilt. Da das Alter von SK nur sehr ungenau bestimmt werden kann (HNÍZDO u. PANTCHEV, 2011), wurde dies wie bei DENNERT (1997) definiert durch das Fehlen oder Vorhandensein von äußeren Geschlechtsmerkmalen (Kap. II.1.2; II.1.3; II.1.4; jeweils unter dem Stichpunkt „charakteristische Merkmale“). Als „juvenil“ wurden Tiere bezeichnet, die aufgrund des Fehlens äußerer Geschlechtsmerkmale nicht eindeutig als männlich oder weiblich identifizierbar waren. Eine Unterteilung zwischen männlichen und weiblichen Tieren erfolgte in dieser Alters-Kategorisierung nicht. Bei den adulten Tieren gelang die Zuordnung von Geschlechtsmerkmalen jedoch leicht, deshalb erfolgte hier zusätzlich eine Einteilung in die **Geschlecht**s-kategorien „männlich“ (m) und „weiblich“ (w). In der vorliegenden Studie konnten Passagen von 13 *T. s. elegans* (11 ad [6 m, 5 w], 2 juv), von 8 *E. orbicularis* (5 ad [3 m, 2 w], 3 juv) und von 13 *T. h. boettgeri* (10 m, 3 juv) ermittelt werden. Da in der Reptilienauffangstation weibliche SK deutlich einfacher zu vermitteln und daher weniger zahlreich im Bestand vorhanden sind, kamen bei den *T. h. boettgeri* ausschließlich männliche und juvenile Tiere zum Einsatz.

Einmal wöchentlich wurde das **Gewicht** der SK mit einer kalibrierten Feinwaage (Zehntelgrammauflösung) erfasst und daraus die wöchentliche Gewichtsentwicklung mit der Formel: $(\text{aktuelles Gewicht} - \text{Gewicht der Vorwoche}) * 100 / \text{Gewicht der Vorwoche}$ errechnet. Die Tiere wurden - wie von der Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz (TVT) empfohlen (TVT, 2010) - für die Messung möglichst ruhig und schonend aus dem Aquarium oder Gehege entnommen, um Stress durch das Handling zu reduzieren. Anschließend wurde bei den WSK kurz gewartet, bis das Tier abgetropft war, um Messfehler durch das dem Tier anhaftende Wasser zu vermeiden. Für einen schonenden Umgang wurden die Tiere möglichst bäuchlings auf der Waage platziert. Die LSK konnten wegen ihres ruhigen Wesens dafür auch in eine kleine Schale gesetzt werden. Das durchschnittliche Ausgangsgewicht der *T. s. elegans* lag bei 130 g (86 - 174 g) für juvenile bzw. 598 g (159 – 1572 g) für adulte Tiere. Bei den *E. orbicularis* wurde das durchschnittliche Ausgangsgewicht mit 72 g (50 – 107 g) für juvenile bzw.

406 g (169 – 641 g) für adulte Tiere ermittelt und bei den *T. h. boettgeri* mit 188 g (153 – 238 g) für juvenile bzw. 496 g (231,5 – 1046 g) für adulte Tiere. Das Gewicht und die Gewichtsentwicklung wurden für jede Passage getrennt linear interpoliert. Basierend auf der dokumentierten Gewichtsveränderung wurde bei den WSK die benötigte Futtermenge für die folgende Woche festgelegt.

Zu Beginn, gelegentlich während der Studie und vor Studienende wurde bei allen SK zusätzlich palpatorisch der **Ernährungszustand** überprüft und abgestuft von 1,0 (mager) bis 5,0 (fettleibig) in halben Stufenschritten dokumentiert. Zur Bestimmung des Ernährungszustands wurde palpatorisch die Ausprägung von subkutanem Fettgewebe an den Gliedmaßenausschnitten kontrolliert (TVT, 2010; KÖLLE u. BLAHAK, 2015) und die Schwanz- oder Nackenmuskulatur beurteilt (Protokoll der Reptilienauffangstation). Diese Untersuchung diente primär der Plausibilitätsüberprüfung des gemessenen KG und der zugeteilten Futtermenge und fand keinen Eingang in die Auswertung der Daten. Die reine Aufzeichnung des Körpergewichtes hätte z. B. durch Ödeme oder vermehrte Wasserspeicherung im Magen (BONIN et al., 2007) oder der Harnblase verfälscht sein können, da diese zwischen 20 und 30 % des Körpergewichts ausmachen kann (MEIENBERGER et al., 1993; KÖLLE, 2009). Der Ernährungszustand aller Tiere war mit 2,5 – 3,5 (nahezu) ideal, nur das kleinste Tier, eine *E. orbicularis* mit einem Ausgangsgewicht von 52 g wurde als dünn (EZ 2,0) eingestuft.

2. **Haltungsbedingungen**

2.1. **Allgemeines**

Wie bereits in Kap. III.1 erwähnt, wurde bei der Konzipierung der Haltung der drei Arten strikt auf die Einhaltung der „Mindesthaltungsanforderungen“ (SACHVERSTÄNDIGENGRUPPE TIERSCHUTZGERECHTE HALTUNG VON TERRARIENTIEREN, 1997) geachtet. Diese wurden z. T. erheblich übertroffen. Auch die Empfehlungen der TVT in Bezug auf die korrekte Haltung und Fütterung von Griechischen LSK wurden realisiert (TVT, 2004). Die Haltung und Ernährung der Studientiere sollte möglichst artgerecht und zudem praxistauglich und realistisch sein. Um eine Verzerrung der Ergebnisse zu vermeiden, wurden die tägliche Versorgung der Tiere und alle Beobachtungen ausschließlich von mir durchgeführt.

Allen Tieren wurde eine **Eingewöhnungszeit** von durchschnittlich 12 Tagen (Median: 6, Min.: 2, Max.: 39) gegeben. Die Dauer der Eingewöhnungszeit wurde maßgeblich vom Verhalten, der Futteraufnahme und der vorangegangenen Haltung des jeweiligen Tieres bestimmt. Die Eingewöhnungszeit diente der Anpassung der Tiere an die z. T. neue Haltungsumgebung und bei den WSK zusätzlich der Gewöhnung an den bis dahin unbekannten „Schildkrötenpudding“, daher war die Haltung und Fütterung der Tiere zur Eingewöhnungszeit dieselbe wie während der Studie. Die LSK wurden während ihrer Eingewöhnungszeit von mindestens 13 Tagen 2x standardmäßig mit Fenbendazol (Panacur® PetPaste, MSD Animal Health, Unterschleißheim) (100 mg/kg p. o.) im Abstand von 10 Tagen entwurmt (KÖLLE, 2009).

2.2. Unterbringung der Tiere

Die Haltung der **WSK** (*T. s. elegans* und *E. orbicularis*) erfolgte einzeln in Glasaquarien mit den Maßen 100 x 40 x 40 cm bzw. 80 x 35 x 40 cm oder 60 x 30 x 30 cm (Länge x Breite x Höhe) in befensterten Innenräumen der Auffangstation für Reptilien (München) und der Medizinischen Kleintierklinik der LMU (München). Die SK wurden der Größe nach auf die verschiedenen Aquarien aufgeteilt, so dass jedem Tier mindestens das 5fache seiner Panzerlänge in der Länge und das 2,5fache seiner Panzerlänge in der Breite zur Verfügung standen. Der Wasserstand betrug mindestens die doppelte Panzerbreite. Als Versteck- und Klettermöglichkeit diente im Wasser ein großer kantiger Naturstein. Zusätzlich stand jedem Tier ein separater Landteil mit Kies und Wärmestrahler (75 W) zur Verfügung, der über eine Rampe („turtle dock“) jederzeit erreichbar war. Es wurde bei keinem Tier Nistverhalten beobachtet, jedoch nahmen alle Tiere den Landteil als Gelegenheit zum „Sonnenbaden“ wahr. Das Erreichen einer minimalen Strahlungswärme von 35 °C auf dem Landteil wurde nach der Installation überprüft. Für die WSK wurde ein 12 Stunden-Lichttag durch zusätzliche Beleuchtung mittels Leuchtstoffröhren mit Tageslichtspektrum (Lumilux T8, Osram, München) von 08:00 bis 20:00 Uhr geschaffen. Die Leuchtstoffröhren der WSK waren zusätzlich zu den Wärmespots jeweils direkt über den Aquarien angebracht. Täglich wurde mittags der Kotabsatz bei jedem Tier dokumentiert (Kap. III.3). Jeden 2. Tag wurden die WSK anschließend mit selbst hergestelltem Schildkrötenpudding (SKP) zur freien Futteraufnahme gefüttert. Es wurde abgewartet, bis jedes Tier sein zugeteiltes Futter

aufgenommen hatte, danach erfolgte unverzüglich ein gründlicher **Wasserwechsel** zur Reinigung des Aquariums von ggf. vorhandenem Kot und kleinen Futterpartikeln, die durch das Abbeißen vom SKP entstanden sind. So wurde auch sichergestellt, dass es zu keiner Verwechslung von Kotteilchen mit Futterresten kam. Wöchentlich erhielt jede WSK während des Wasserwechsels ein UV-Bad von ca. 45 Minuten (Osram Ultra Vitalux 300W).

Die **LSK** (*T. h. boettgeri*) wurden einzeln in Gehegen in einem wintergartenähnlichen Vorraum gehalten. Die Gehege übertrafen mit einer Länge von 1,40 bis 1,44 Meter und einer Breite von 0,6 bis 1,0 Meter auch bei den *T. h. boettgeri* die empfohlene Mindestgröße (8-fache Panzerlänge in der Gehegelänge und 4-fache Panzerlänge in der Gehegebreite) (SACHVERSTÄNDIGENGRUPPE TIERSCHUTZGERECHTE HALTUNG VON TERRARIENTIEREN, 1997). Der Raum war rundum gemauert, hatte aber ein transparentes, licht- und UV-durchlässiges Kunststoffdach. Die Gehege wurden aus hygienischen Gründen und zur Erleichterung der Reinigung flächendeckend mit Zeitung ausgelegt. Jeder SK standen ein wärmegeprägter Bodenbereich aus Kork mit Schutzhaus und eine flache Badeschale zur Verfügung. Zusätzlich wurde jeder SK ein Bereich mit Strahlungswärme über eine 100 Watt Wärmelampe von 08:00 bis 20:00 Uhr angeboten. Im Spotbereich wurden 45 °C erreicht. Ansonsten herrschte durch das transparente Dach im Raum durch einen Baum leicht beschattetes Tageslicht. Auch bei den LSK erfolgte täglich mittags die Dokumentation des Kotabsatzes. Anschließend wurden die Gehege von eventuell vorhandenen Verschmutzungen gesäubert, die Badeschalen gereinigt, das Wasser erneuert, die Futterreste wurden entfernt und wieder durch Frischfutter ersetzt.

2.3. Fütterung der Tiere

Die Fütterung der **WSK** erfolgte mit SKP. Der SKP wurde - angelehnt an ein Rezept für carnivore und juvenile omnivore WSK (KÖLLE, 2009) - selbst zubereitet und wird im Folgenden unter der Abkürzung SKP „cv“ geführt. Verändert wurden die beigegebenen Vitamin-Mineralfutter, da das ursprünglich im Rezept benannte „Vitakalk“ (MFE Marienfelde) nicht mehr auf dem Markt verfügbar war. Es wurde durch ein ähnliches Vitamin-Mineralfutter ersetzt. Außerdem wurde die Menge an Gelatine erhöht, um die Konsistenz des SKP für die Studie zu verbessern. Das Rezept gilt als bedarfsdeckend und kann durch

Erhöhung des pflanzlichen Anteils in ein Rezept für omnivore adulte Tiere umgewandelt werden (KÖLLE, 2009). Daher wurden auch zwei weitere Varianten des SKP mit erhöhtem Fasergehalt verwendet: Für die Variation „**ov**“ wurde der Wildkräuteranteil von 50 g (ca. 4,3 % oS) auf 350 g (ca. 30 % oS) erhöht. Die dritte Variante „**Rfa**“ enthielt statt des erhöhten Wildkräuteranteils handelsübliche Zellulosefasern (Optiballast Zellulose, Futtermedicus, Fürstenfeldbruck) zur Erhöhung des Rohfaseranteils. Die Menge der zugemischten Zellulose betrug (zusätzlich zu den 50 g Wildkräutern) 30 g (ca. 2,5 % oS bzw. ca. 10 % TS). Die verwendeten Rezepte der drei Varianten des SKP sind in Tabelle 3 und die jeweilige kalkulierte Nährstoffzusammensetzung ist in Tabelle 4 zu finden.

Prinzipiell ist das Zellulosefaserpulver ein deutlich potenterer Rfa-Lieferant als z. B. Wildkräuter im SKP: die 10fache Menge an Löwenzahn (hier 300 g im Vergleich zu 30 g Zellulose) erhöht trotz vergleichbarer absoluter TS (hier 33 g im Vergleich zu 29 g) den Rfa-Gehalt absolut nur um ca. ein Zehntel (hier 9 g im Vergleich zu 30 g).

Tabelle 3: Rezepte für die drei verwendeten Varianten des Schildkrötenpuddings (nach KÖLLE (2009))

Zutaten	SKP „ cv “ ^a	SKP „ ov “ ^b	SKP „ Rfa “ ^c
Rinderherz	470 g	470 g	470 g
Eier ohne Schale	3 Stück	3 Stück	3 Stück
Wasser	250 ml	250 ml	250 ml
(Früh-)Karotten	200 ml bzw. 200 g	200 ml bzw. 200 g	200 ml bzw. 200 g
(Salat bzw.) Wildkräuter	50 g	350 g	50 g
Pflanzenöl	1 EL (10 g)	1 EL (10 g)	1 EL (10 g)
Gammarus getrocknet	70 g	70 g	70 g
Eierschalpulver	10 g	10 g	10 g
„Vitamin – Optimix cooking“ (Futtermedicus, Fürstenfeldbruck)	15 g	15 g	15 g
Gelatine	60 g	60 g	60 g
Zellulosefaser			30 g

Die Zutaten werden zerkleinert und bis auf das „Vitamin-Optimix cooking“ und die Gelatine durchmischt, aufgekocht und püriert. Nach Abkühlen der Masse auf unter 40 °C werden die Gelatine und das Vitamin-Mineralfutter gründlich untergemischt. Die Masse wird daraufhin portioniert eingefroren und bei Bedarf frisch aufgetaut verfüttert.

^a cv = SKP - carnivore Variante; ^b ov = SKP - omnivore Variante; ^c Rfa = SKP - mit Zellulosepulver angereicherte Variante

Tabelle 4: Trockensubstanz (TS) und Nährstoffzusammensetzung der drei Varianten des Schildkrötenpuddings bezogen auf die TS

Nährstoffangaben	SKP „cv“ ^a	SKP „ov“ ^b	SKP „Rfa“ ^c
TS	28,2	24,7	29,8
Kcal % TS	416	402	384
Rp % TS	54,7	52,4	50,4
Rfe % TS	18,8	17,6	17,3
NfE % TS	9,6	10,7	8,8
Rfa % TS	3,8	5,9	11,6
Ca/P	3,3	3,3	3,3

^a SKP cv = carnivore Variante; ^b SKP ov = omnivore Variante; ^c SKP Rfa = mit Zellulosepulver angereicherte Variante

TS = Trockensubstanz; Kcal = Kilokalorien; Rp = Rohprotein; Rfe = Rohfett; NfE = Stickstoff-freie-Extraktstoffe; Rfa = Rohfaser; Ca/P = Kalzium-Phosphor-Verhältnis

Zugrunde gelegt wurden für die Berechnung der Nährstoffzusammensetzung folgende Analysewert-Quellen:

Rinderherz, Karotten, Ei (ohne Schale), Gelatine, Leinöl und Löwenzahl aus SOUCI et al. (2008). Eierschalen nach Angaben von Lunderland (Salzwedel OT Brietz). Vitamin-Optimix-Cooking und Zellulosefasern nach Herstellerangaben (Futtermedicus, Fürstenfeldbruck). Gammarus als Durchschnitt aus diversen Herstellerangaben (Dehner Aqua, Fischfuttertreff, Pondovit, Tetra, Trixie, JBL, ProfiPet, bachflohkrebs). Jeweils online zuletzt abgerufen am 21. 01. 2017.

Da WSK restriktiv gefüttert werden und nur langsam wachsen sollten (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; BOYER u. BOYER, 2006), bekamen die Tiere nur jeden zweiten Tag eine auf 0,1 g genau abgewogene Futtermenge zugeteilt, die bis auf geringe Futterkrümel, die beim Abbeißen entstanden, nahezu immer vollständig aufgenommen wurde. Die angebotene **Futtermenge** wurde wöchentlich an die Gewichtsentwicklung des jeweiligen Tieres angepasst und war ausgelegt auf Gewichtskonstanz bzw. geringstmögliche Gewichtszunahme des Tieres. Die zugeteilte Menge an SKP lag bei den *T. s. elegans* im Mittel bei 1,3 (0,5 – 3,3) % KG und bei den *E. orbicularis* bei 1,3 (0,2 – 4,1) % KG alle zwei Tage.

Die **LSK** wurden täglich mit einer Mischung aus saisonal verfügbaren Wildkräutern gefüttert. Das Futter stand bis zur Gehegereinigung am nächsten Tag zur freien Verfügung. Die Kräuter wurden täglich frisch gesammelt und unzerteilt, aber gründlich durchmischt den Tieren in ausreichender Menge (ad libitum) angeboten. Die Kräutermischung bestand ungefähr hälftig aus Löwenzahn, der Rest der Mischung setzte sich je nach Verfügbarkeit aus Spitz- und Breitwegerich, Klee, Luzerne, Gänseblümchen, Taub- und Brennessel, Erdbeer-, Himbeer- und Johannisbeerblättern, Rainkohl, Frauenmantel, Vogelmiere, Kamille, Esparsette, Holunderblättern und Giersch zusammen. Die Fütterung von LSK mit Wildkräutern gilt als Optimum, solange keine giftigen

Pflanzen(teile) beigemischt sind (u.a. STAHL u. DONOGHUE, 2002; MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; JESSOP u. BENNETT, 2010). Bei einigen Passagen wurde auch hier der Rohfaseranteil der Ration in Form von untergemischten **Zellulosefasern** (Optiballast Zellulose, Futtermedicus, Fürstenfeldbruck) erhöht. Die Zellulose wurde analog zu den WSK als ca. 10 % der TS dosiert, wobei die TS der Wildkräuter in Anlehnung an die Angaben von SOUCI et al. (2008) für Löwenzahn auf ca. 10,9 % der oS geschätzt wurde. Daraus ergibt sich eine Dosierung von ca. 1,1 % Zellulose im Futter (oS). Die Wildkräuter mit Optiballast Zellulose haben somit insgesamt einen Rfa-Gehalt von ca. 4 % oS (bzw. 34,4 % TS) im Vergleich zu 3 % oS (bzw. 27,7 % TS) bei der reinen Wildkräuterfütterung. Dies entspricht in etwa den Angaben für ein durchschnittliches (obergrasbetontes) Heu (KAMPHUES, 2009). Auf die Berechnung der Futteraufnahme wurde bei den LSK verzichtet.

2.4. Temperatur

Da die Haltung nicht in vollklimatisierten Räumen stattfand, war es nicht möglich, die Umgebungstemperatur auf einen konstanten Wert einzustellen. Die Variationen der Temperatur im Versuchsverlauf wurden täglich auf eine Dezimalstelle genau dokumentiert.

Bei den **WSK** wurde täglich mittags die vorherrschende Luft- und Wassertemperatur mit einem digitalen Minimum-Maximum-Thermometer über wasserdichte Außensensoren an einem Sensorkabel erfasst. Daraufhin wurde für jede Passage getrennt die durchschnittliche Temperatur dieser Passage vom Tag der Fütterung mit dem Marker (t_0) bis zum Tag der letzten Ausscheidung des Markers (t_{\max}) im Kot errechnet. Die durchschnittliche Wassertemperatur einer Passage lag bei den *T. s. elegans* bei 25,2 °C (21,8 – 29,7 °C) und bei den *E. orbicularis* bei 23,8 °C (22,1 – 27,3 °C).

Bei den **LSK** wurde täglich die erreichte Minimal- und Maximaltemperatur der Raumluft mit einem Minimum-Maximum-Flüssigkeits-Glasthermometer gemessen und dokumentiert. Analog zu den WSK wurde aus allen Minimal- und Maximaltemperaturen einer Passage eine Durchschnittsminimal- und Durchschnittsmaximaltemperatur der jeweiligen Passage berechnet. Anschließend wurde zusätzlich der Durchschnitt aus der Durchschnittsminimal- und Durchschnittsmaximaltemperatur errechnet, um die durchschnittlichen Lebensbedingungen der *T. h. boettgeri* bezüglich der Temperatur einfacher

darzustellen. Die durchschnittliche Raum-Lufttemperatur einer Passage bei den *T. h. boettgeri* lag bei 21,2 °C (18,0 – 24,0 °C). Nachts (minimal) lagen die Temperaturen der Passagen durchschnittlich bei 19,3 °C (16,1 – 21,1 °C) und am Tag (maximal) bei 23,1 °C (19,7 - 26,9 °C).

2.5. Saison

Alle gewonnenen Daten wurden mit dem Datum der Erhebung dokumentiert, so dass eine Zuordnung der ermittelten Passagen zu Kalenderwochen (KW) möglich war. Nach Definition bestimmte jeweils das Datum der Marker-Fütterung (t_0) - also der erste Tag einer jeden Passage - die zugrunde gelegte Kalenderwoche.

3. Ermittlung der Passagezeit (PZ)

Die PZ wurde mittels Markermethode ermittelt. Als **Markersubstanz** wurde der inerte Farbstoff Chromoxidgrün (ABW oikoartec GmbH, Berlin) verwendet. Das Chromoxid wurde zu Beginn einer Passage (definiert als t_0) einmalig der gesamten Tagesration einer SK beigemischt, so dass es im Futter gleichmäßig verteilt war. Es wurde in einer Dosis von 10 % der Futter-TS zugegeben. Die entsprechenden Anteile des Chromoxids bezogen auf die Frischsubstanz der verwendeten Futtermittel finden sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Umrechnung der Chromoxiddosis in % der Futter-Originalsubstanz (oS)

Futter	TS (% oS) des unmarkierten Futters	Cr ₂ O ₃ -Gehalt (% oS) ^a
Löwenzahn	10,9 [§]	1,1
Löwenzahn + Zellulose	11,9 [§]	1,1
SKP cv	28,2*	2,7
SKP ov	24,7*	2,4
SKP Rfa	29,8*	2,9

^a errechnet als: hinzugefügte Menge Cr₂O₃(g)/Gesamtmenge (oS)(g)*100

* errechnet in Tabelle 4; [§] geschätzt nach Werten von SOUCI et al. (2008)

Dem SKP der WSK wurde das Chromoxidgrün vor dem Pürrieren beigemischt, so dass es danach sehr homogen verteilt war (Abbildung 5). Über das Grünfutter der LSK wurde das Chromoxid gleichmäßig gestreut. Es blieb gut an der taufeuchten Oberfläche der frischen Kräuter haften. Anschließend wurden die Kräuter gut von Hand durchmischt. Falls die Kräutermischung zu trocken war, wurde sie vor dem Vermischen mit Chromoxid oberflächlich noch leicht mit Wasser angefeuchtet

(HAILEY, 1997). Der Marker hob sich farblich auch beim Grünfutter ab, daher wurde die Verteilung des Chromoxides auf dem Grünfutter vor dem Verfüttern visuell kontrolliert. Im Anschluss an die einmalig markierte Fütterung erhielten die Tiere für die gesamte Dauer der Passage dasselbe Futter - nur ohne Marker - in ihrem normalen Fütterungsschema (d. h. LSK täglich, WSK jeden zweiten Tag).

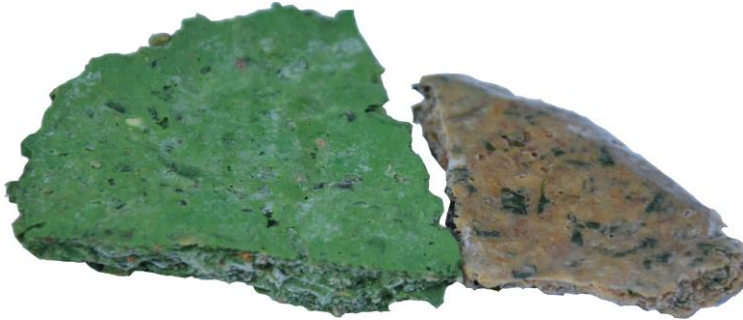


Abbildung 5: Fotografie des Schildkrötenpuddings (links mit und rechts ohne Chromoxidgrün)

Die Fütterung erfolgte direkt nach der **Dokumentation** des Kotabsatzes des jeweiligen Tages. Der Kot wurde immer dem Kalendertag zugezählt, an dem er entdeckt wurde, so dass Kot, der am Nachmittag oder Abend abgesetzt wurde, dem Folgetag zugeordnet wurde. Falls ein Tier während der Zeit der täglichen Versorgung eine weitere Kotportion absetzte, wurde diese dementsprechend der Kotportion des aktuellen Tages hinzugezählt und das Aquarium oder Gehege erneut gereinigt. In Anlehnung an andere Studien mit visueller Beurteilung der Faeces zur Bestimmung der PZ (HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983; BJORN DAL, 1989; DAVENPORT et al., 1992; MCMASTER u. DOWNS, 2008) wurde der Kotabsatz jedes Tieres täglich visuell bezüglich der Kotfarbe und -menge beurteilt und semiquantitativ dokumentiert. Die Abstufung der **Kotmengen** ging von „b“ oder „g“ (nur Spuren braunen oder grünen Kotes erkennbar) bis „bbbb“ bzw. „ggggg“ (viel Kot erkennbar). Je größer die Kotmenge, desto mehr Buchstaben wurden notiert. Auch die **Kotfarbe** wurde in Abstufungen dokumentiert, z. B. „bbgg“ (dies entsprach einer deutlichen Kotportion, die ungefähr hälftig aus grün markiertem Kot bestand). Auf diese Weise wurde aufgezeichnet, ob es sich um ausschließlich grünen oder ausschließlich normalfarbenen (braunen) Kot handelte, oder ob beide Farben gleichzeitig auftraten. Die Kotfarbe war (außer bei extrem kleinen „Kotspuren“) leicht identifizierbar (Abbildung 6 und Abbildung 7).



Abbildung 6: Naturfarbener Kot einer WSK („bbbb“)



Abbildung 7: Kot einer WSK mit Chromoxidgrün („bggg“)

Für die Beurteilung der Dauer der Magen-Darm-Passagen wurden drei **Variablen** t_{\min} , t_{\max} und „Mean retention time“ (MRT) ermittelt. T_{\min} und t_{\max} bezeichnen dabei jeweils den ersten und letzten Tag der visuell festgestellten Ausscheidung von Marker mit dem Kot. Die **MRT**, also die mittlere Verweilzeit, wurde als Durchschnitt aus der jeweiligen t_{\min} - und t_{\max} -Zeit berechnet. Die Zeiten t_{\min} und t_{\max} wurden nach vier unterschiedlichen Arten ausgezählt.

- „Lang“ (d): hier wurden die Kalendertage bis zur ersten (t_{\min}) bzw. letzten (t_{\max}) grünen Ausscheidung (incl. Spuren von Kot „b“ oder „g“) gezählt. Auf die letzte grüne Ausscheidung mussten mindestens 3 Tage mit normalfarbenem Kot folgen.
- „Lang - Kottage“ (n Kot): hier wurden nur diejenigen Tage mit Kotabsatz gezählt, um t_{\min} und t_{\max} zu ermitteln. Der Wert beschreibt also, an wie vielen Tagen, von t_0 ausgehend, bis t_{\min} bzw. t_{\max} Kotabsatz beobachtet wurde. Auf die letzte grüne Ausscheidung mussten mindestens 3 Tage mit normalfarbenem Kot folgen.
- „Bolus“ (d): hier wurden die Kalendertage bis zur ersten (t_{\min}) bzw. letzten (t_{\max}) deutlichen grünen Ausscheidung eines größeren Kotbolus gezählt. Sehr kleine Kotportionen „b“ oder „g“ wurden hier als nicht sicher identifizierbar eingestuft und bei der Zählung nicht berücksichtigt. Gezählt wurde außerdem nur bis zur erstmals festgestellten deutlichen Verdünnung der grünen Farbe. Ein erneuter deutlicher Anstieg („peak“) des Anteils von grünem Kot wurde als wahrscheinlich artifiziell (z. B. durch Koprophagie bedingt) eingeschätzt und daher ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei insgesamt 5 Passagen wurde tatsächlich beobachtet, dass SK markierten Kot gefressen haben. Bei diesen Passagen endete die Zählung mit dem Tag der beobachteten Koprophagie, auch wenn eine Verdünnung des Markeranteils im Kot noch nicht feststellbar war.

- „Bolus - Kottage“ (n Kot): hier wurden lediglich die Tage ab t_0 gezählt, an denen deutlicher Kot, also ein Kotbolus, abgesetzt wurde. T_{\min} bzw. t_{\max} wurden unter Vernachlässigung des Auftretens von Kotspuren (Einstufung als „b“ oder „g“) sowie nur bis zur ersten deutlichen Verdünnung der grünen Farbe bestimmt.

Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den Parametern ist in Abbildung 8 ein fiktives Beispiel dargestellt.

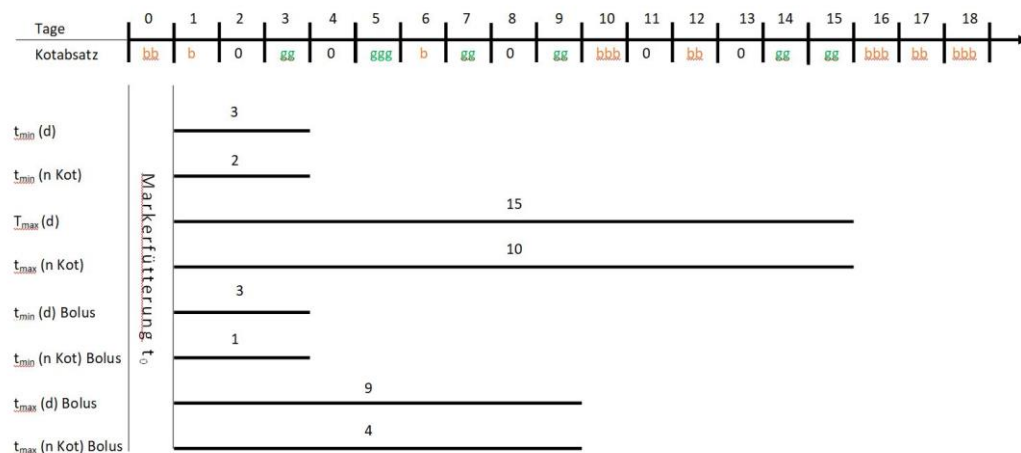


Abbildung 8: Fiktives Beispiel der Auszählung der verschiedenen Passagezeitvariablen von t_{\min} und t_{\max}

Die Zahlen oben beschreiben die fortschreitenden Tage, die Buchstaben darunter den dokumentierten Kotabsatz (0 = kein Kot erkennbar, b = nur Spuren braunen Kotes erkennbar, bb bzw. gg = brauner bzw. grüner Kot erkennbar, bbb bzw. ggg = größere Mengen an braunem bzw. grünem Kot erkennbar). Die Strahlen darunter geben an, wie viele Tage in dieser Passage den PZ-Variablen t_{\min} und t_{\max} in den verschiedenen Varianten der Auszählung zugeschrieben worden sind.

Vor einer ggf. folgenden weiteren Passage, also der Verfütterung einer weiteren Tagesportion markierten Futters, wurde immer, auch bei der Bolus-Auszählung, abgewartet, bis das Tier jeweils mindestens dreimal naturfarbenen (braunen) Kot abgesetzt hatte. Tage ohne Kotabsatz wurden hierbei nie mitgezählt, denn es ging ausschließlich um einen möglichen „wash-out-Effekt“ des MDT, nicht um eine bestimmte Anzahl von Tagen bis zur nächsten Passage.

Insgesamt wurden pro SK bei den *T. s. elegans* je 1 - 20 (Mittel: 13, Median: 16), bei den *E. orbicularis* je 1 - 12 (Mittel: 5, Median: 3) und bei den *T. h. boettgeri* je 3 - 6 (Mittel: 5, Median: 5) Passagen ermittelt.

4. Auswertung und statistische Methoden

Die erhobenen Daten wurden statistisch mit Microsoft Office Excel 2016 und der Software R[®] Version 3.3.0 (2016-05-03) mit Unterstützung durch das **StaBLab** (statistisches Beratungslabor, München) ausgewertet.

Sofern nicht anders beschrieben, erfolgte die Zusammenfassung mehrerer Einzelwerte durch die Angabe des **Medians** mit Minimal- und Maximalwert als Streuungsmaß.

Die Visualisierung der Unterschiede zwischen der „Bolus“- und der „langen“ Auszählung erfolgte als **Punktediagramm**.

Zusammenhänge zwischen zwei metrischen Variablen (MRT, Temperatur, KW (Saison), KG und Futtermenge) wurden meist als Streudiagramme dargestellt und über **lineare Regressionen** errechnet. Der Intercept benennt hierbei den Schnittpunkt der errechneten Geraden mit der Y-Achse und b gibt die Steigung der Geraden an, die den Zusammenhang im Streudiagramm darstellt. Für die weitere Überprüfung eines Zusammenhanges zwischen Temperatur und PZ und zwischen KG und PZ wurden zusätzlich **Sample Regressionen** angefertigt. Hierfür wurden jeweils 10 mal 10 Beobachtungen zufällig gezogen und daraus eine lineare Regression errechnet.

Nominale Variablen (Individuen, Geschlecht, Alter, Futterart) wurden anhand von **Boxplots** beschrieben und zum Ausgleich der unbalancierten Paneldaten (1 - 20 Passagen pro SK) zusätzlich als **Mittelwert je Individuum** ausgewertet. Boxplots stellen die Verteilung der Daten grafisch dar. Im Zentrum des Boxplots liegt als Box der Bereich der mittleren 50% der Daten. Somit wird sie an den Rändern begrenzt durch das obere (75%-) und untere (25%-) Quartil. Die Länge der Box (der Interquartilsabstand) gibt einen Überblick über die Streuung der Daten. Der Median wird als Strich in der Box angegeben und teilt das Diagramm jeweils in die oberen und unteren 50% der Daten. Die Lage des Medians innerhalb der Box lässt Rückschlüsse auf die Schiefe der Datenverteilung zu. Die Antennen außerhalb der Box visualisieren den 1,5fachen Interquartilsabstand.

IV. ERGEBNISSE

1. Vergleich der Längen und Bolusauszählung

Es wurden Artunterschiede in den PZ festgestellt. So war die t_{\min} bei den *T. h. boettgeri* im Vergleich zu den beiden WSK-Arten größer. Zudem traten Unterschiede zwischen der „Bolus“- und der „langen“ Auszählung fast ausschließlich bei den *T. s. elegans* auf (Abbildung 9, Tabelle 6). V. a. in der „langen“ Auszählung war die t_{\max} bei *T. s. elegans* erst nach fast der doppelten Zeit abgeschlossen wie bei *E. orbicularis*, der zweiten WSK-Art, welche insgesamt die kürzesten Passagezeiten hatte.

In Abbildung 9 sind in einem Gesamtüberblick die Durchschnittswerte für die verschiedenen PZ getrennt für alle drei SK-Arten visualisiert. Dabei wurden die durchschnittlichen PZ jeweils der „langen“ und der „Bolus“-Auszählung einander gegenübergestellt.

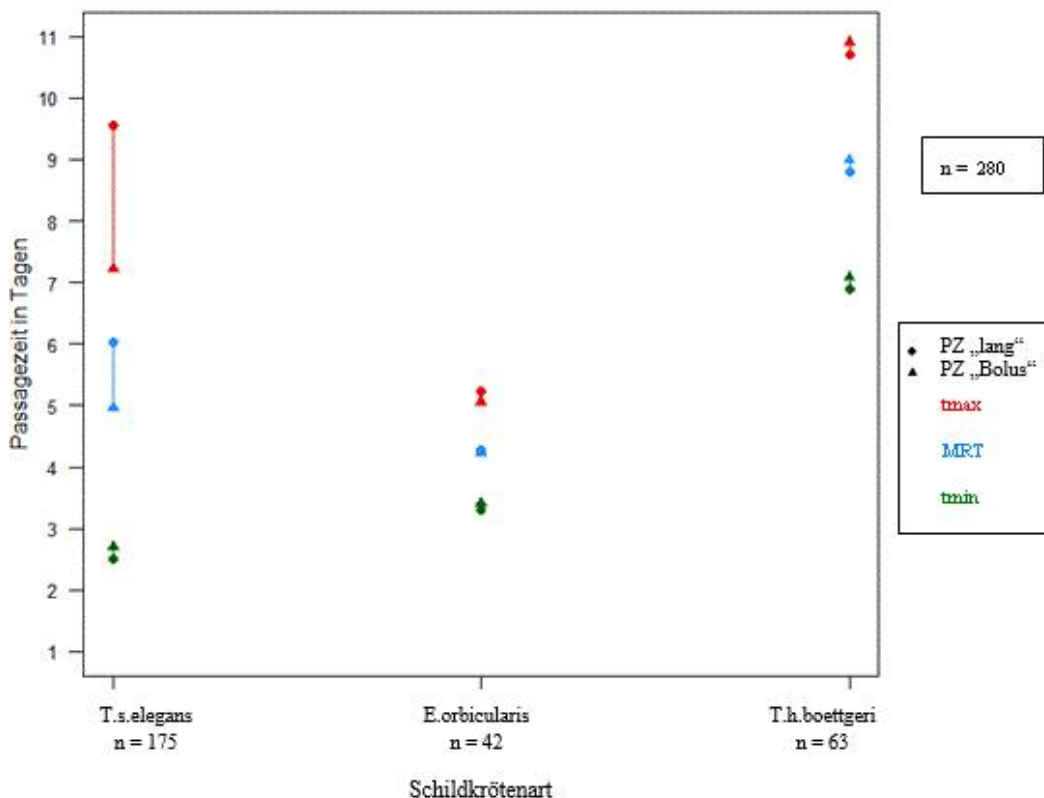


Abbildung 9: Übersicht über die durchschnittlichen Passagezeiten (in Tagen) der drei Schildkrötenarten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* und die verschiedenen Auszählungsvarianten (n = Anzahl der Passagen)

Tabelle 6: Anzahl n (Anteil) der Passagen mit Abweichungen in der t_{\min} und t_{\max} zwischen der „langen“ und der „Bolus“-Auszählung

Art	Abweichung in t_{\min}	Abweichung in t_{\max}	Gesamtzahl Passagen
<i>T. s. elegans</i>	9 (5,1 %)	42 (24,0 %)	175 (100 %)
<i>E. orbicularis</i>	2 (4,8 %)	5 (11,9 %)	42 (100 %)
<i>T. h. boettgeri</i>	2 (3,2 %)	1 (1,6 %)	63 (100 %)

Vergleichbare Unterschiede zwischen der „langen“ und der „Bolus“-Auszählung, wie sie in Abbildung 9 für alle Passagen dargestellt sind, wurden auch bei der Betrachtung der Mittelwerte je Individuum in Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13 festgestellt. Hier ist außerdem erkennbar, dass die MRT der „langen“ Auszählung (v. a. bei den *T. s. elegans*) sowohl bei adulten, als auch bei juvenilen Tieren und ebenso bei allen drei Futterarten länger ist. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Darstellung der Daten beschränkt auf die „Bolus“-Zeiten. Als Bezug wurde also der Absatz einer größeren Menge an Kot gewählt.

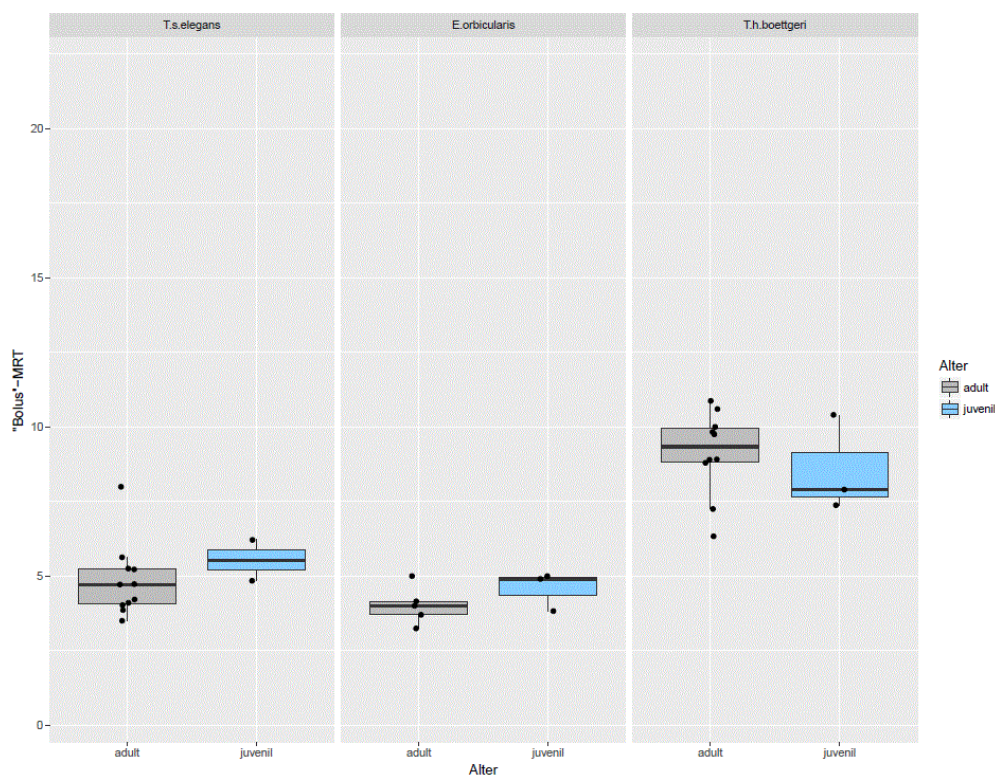


Abbildung 10: „Bolus“-MRT der Altersgruppen der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* (Mittelwert je Individuum)

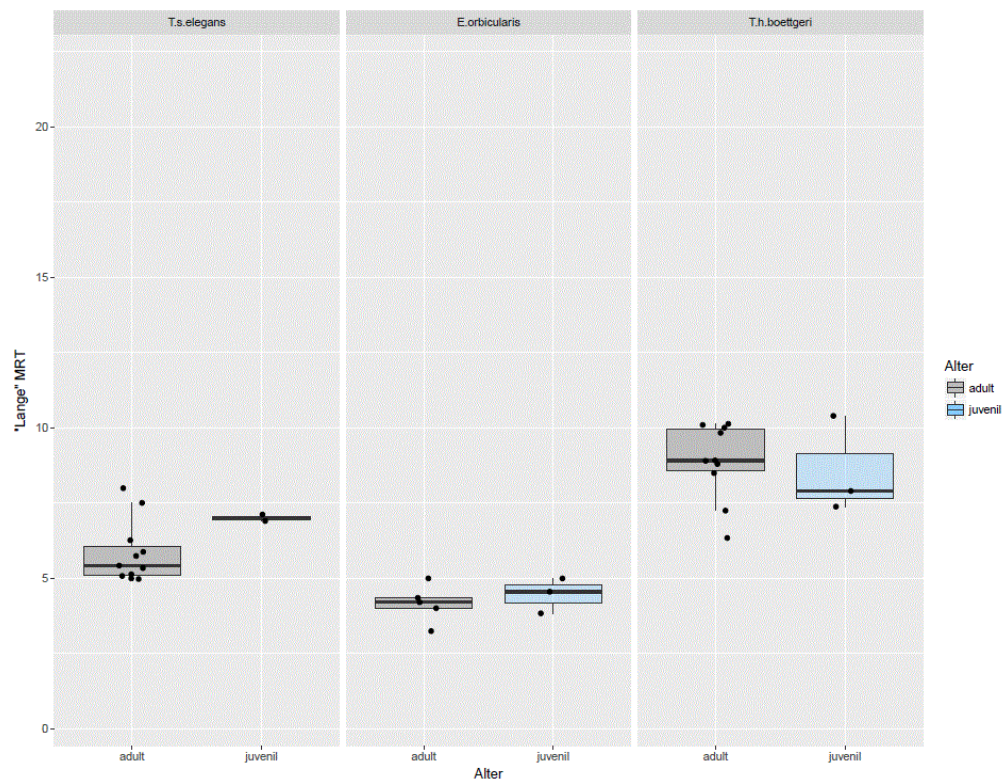


Abbildung 11: „Lange“ MRT der Altersgruppen der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* (Mittelwert je Individuum)

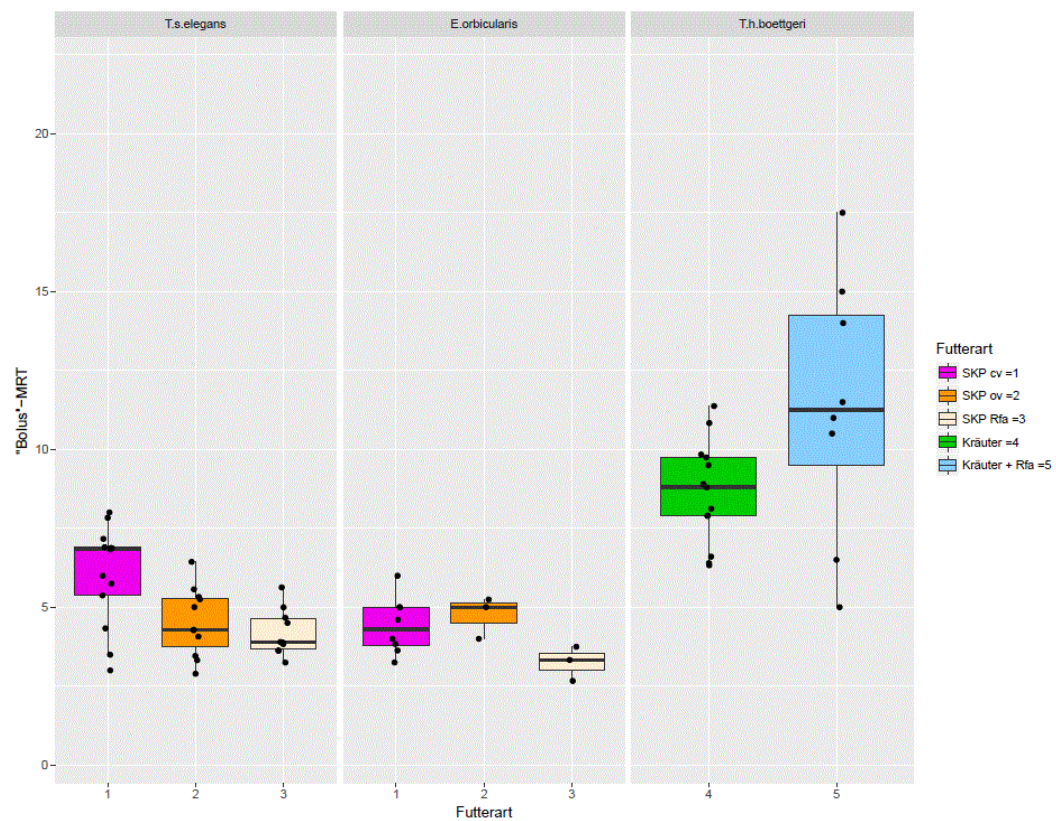


Abbildung 12: „Bolus“-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* (Mittelwert je Individuum) getrennt nach Futterarten

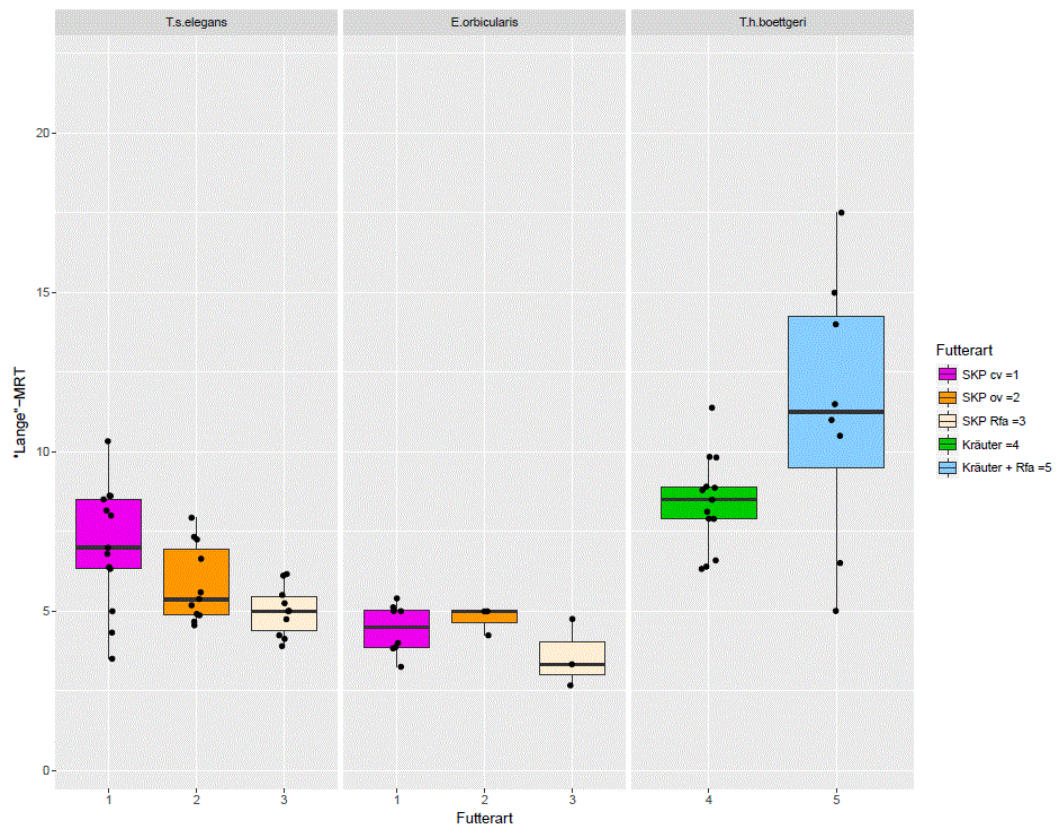


Abbildung 13: „Lange“ MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* (Mittelwert je Individuum) getrennt nach Futterarten

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die ermittelten „Bolus“-Passagezeiten aller drei Arten.

Tabelle 7: Passagezeiten - Median (Minimum - Maximum) in Kalendertagen bei den drei Schildkrötenarten

Art	n	t _{min}	MRT	t _{max}
<i>T. s. elegans</i>	175	2 (1 - 13)	4 (1 - 15,5)	6 (1 - 21)
<i>E. orbicularis</i>	42	2 (1 - 16)	4 (2 - 8)	5,5 (2 - 11)
<i>T. h. boettgeri</i>	63	7 (2 - 17)	7,5 (4 - 22)	10 (5 - 30)

n = Anzahl der Passagen

t_{min} = Transitzeit; von Ingestion bis zur ersten Markerexkretion

MRT = Mittlere Retentionszeit; errechneter Durchschnitt aus t_{min} und t_{max}

t_{max} = Zeit von der Ingestion bis zur letzten Markerexkretion

Zuletzt soll hier noch ein Vergleich der Auszählung der PZ nach Kalendertagen mit „Kottagen“ erfolgen. Die LSK benötigten dabei durchschnittlich ungefähr die dreifache Zahl an Kalendertagen, aber knapp die doppelte Zahl an Kottagen wie die WSK, bis erstmals Marker im Kotbolus sichtbar war. Bei Betrachtung der MRT war diese Diskrepanz ebenfalls vorhanden: gemessen in Kalendertagen lag

die MRT der LSK bei knapp dem doppelten Wert der WSK, bei der Messung in „Kottagen“ lag die MRT nur noch geringfügig über der WSK (Tabelle 8).

Tabelle 8: Durchschnittliche Boluspassagezeiten in Tagen (d) und Kottagen (n Kot) bei den drei Schildkrötenarten

Art	n	t_{\min}		MRT		t_{\max}	
		(d)	(n Kot)	(d)	(n Kot)	(d)	(n Kot)
<i>T. s. elegans</i>	175	2,3	1,8	4,8	4	7	6,2
<i>E. orbicularis</i>	42	2,8	1,8	4,2	3	6	4,2
<i>T. h. boettgeri</i>	63	7	3,3	8,9	4,2	11	5,2

n = Anzahl der Passagen

t_{\min} = Transitzeit; von Ingestion bis zur ersten Markerekkretion

MRT = Mittlere Retentionszeit; errechneter Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max}

t_{\max} = Zeit von der Ingestion bis zur letzten Markerekkretion

2. Intra- und interindividuelle Streuung

Für einen Überblick über die Verteilung der Daten über die einzelnen Tiere und die Erfassung von intra- und interindividuellen Variationen wurden für jedes Tier individuelle Box Plots angefertigt. Die Betrachtung der t_{\min} zeigte, dass bei 11 der 13 *T. s. elegans* (Nr. 1 – 13) und bei 82 von 175 Passagen Markerfarbstoff im Kot bereits am ersten Kalendertag nach Verabreichung des Markers sichtbar war, während dies bei den *E. orbicularis* (Nr. 14 – 24) nur bei 3 der 8 Tiere und bei 5 der 42 Passagen der Fall war (Abbildung 14). Meist war der Marker hier erstmals nach zwei Tagen sichtbar. Beim Vergleich der individuellen Mediane mit dem Median der jeweiligen Art (Tabelle 7) ergab sich für die t_{\min} somit eine Differenz von bis zu 1 Tag für *T. s. elegans* (nicht berücksichtigt war das Tier Nr. 13, bei dem nur eine Messung erfolgt war, welche weit außerhalb des Kernbereiches der Messungen lag) bzw. von maximal 3 Tagen bei den *E. orbicularis*.

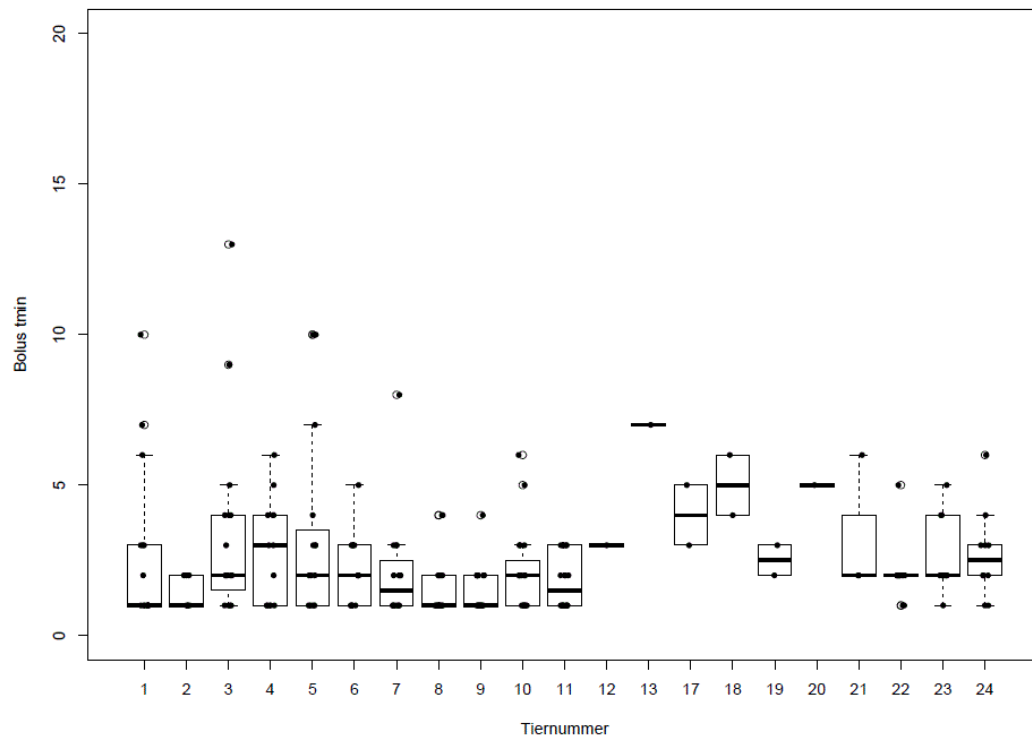


Abbildung 14: „Bolus“- t_{\min} (d) der einzelnen Individuen von *T. s. elegans* (Nr. 1 – 13) und *E. orbicularis* (Nr. 17 – 24). Jeder Punkt stellt hierbei eine Passage beim jeweiligen Tier dar

Bei den *T. h. boettgeri* (Abbildung 15) war die Streuung der t_{\min} innerhalb und auch zwischen den Tieren besonders groß. So reichte die Spanne der Transitzeiten bei Tier Nr. 25 von 6 bis 15 Tagen ($n = 5$ Passagen), während bei anderen *T. h. boettgeri* die t_{\min} sehr konstant war (zwischen Tag 5 und 7 bei Tier Nr. 35, $n = 6$ Passagen). Beim Vergleich der individuellen Mediane mit dem Median aller Tiere der *T. h. boettgeri* (Tabelle 7) ergab sich für die t_{\min} eine Differenz von bis zu 3,5 Tagen.

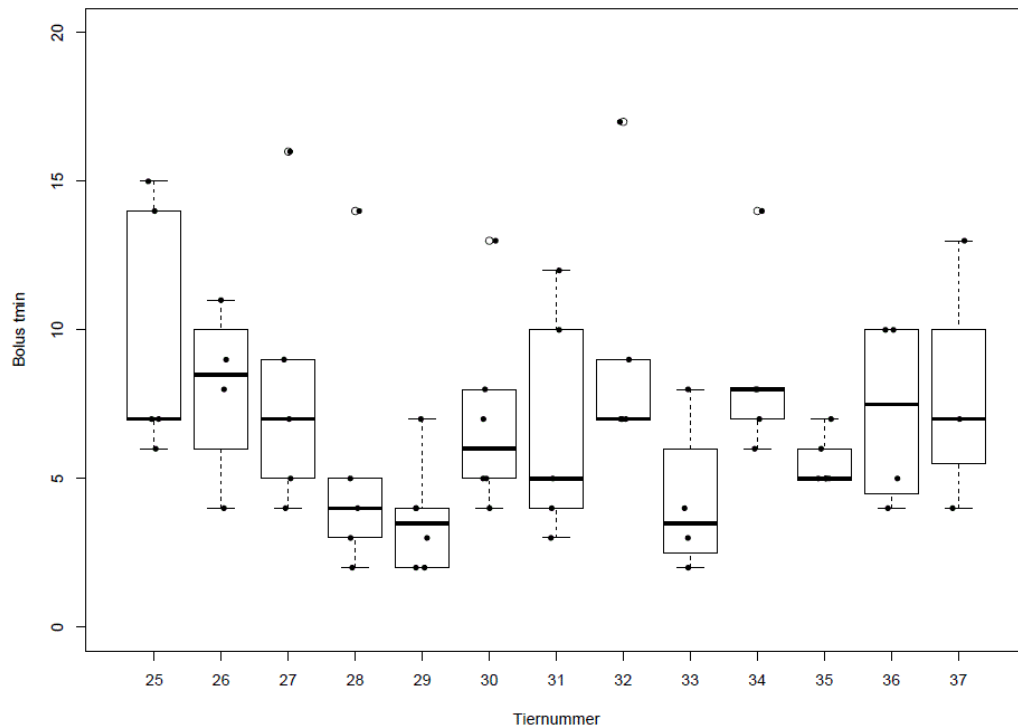


Abbildung 15: „Bolus“- t_{\min} (d) der einzelnen Individuen von *T. h. boettgeri* (Nr. 25 - 37). Jeder Punkt stellt hierbei eine Passage beim jeweiligen Tier dar

Z. T. veränderten sich diese Unterschiede in den PZ bei Betrachtung der MRT statt der t_{\min} (Abbildung 16 und Abbildung 17). Beim Vergleich der individuellen MRT-Mediane mit dem Median der jeweiligen Art (Tabelle 7) ergab sich eine maximale Differenz von 1,75 Tagen bei *T. s. elegans* (nicht berücksichtigt wurde auch hier Tier Nr. 13, bei dem nur eine Passage untersucht wurde), von 1 Tag bei *E. orbicularis* und von 3,5 Tagen bei *T. h. boettgeri*. Auch hier war bei den LSK auffällig, dass Einzeltiere (z. B. Nr. 26 und 28) nur wenig Schwankung in der MRT zeigten (ca. 2 Tage), während die Spanne bei anderen Individuen (z. B. Nr. 25, 27, 30 oder 36) 8 – 12 Tage umfasste. Bei den WSK war die intraindividuelle Streuung bei allen Tieren gleichmäßiger ausgeprägt.

Da die MRT als errechneter Wert aus t_{\min} und t_{\max} die Tendenz der PZ-Veränderungen für die vorliegenden Zwecke ausreichend darstellt und Angaben der MRT in der Literatur geläufiger sind, wurde auf die Abbildung aller individuellen t_{\max} -Zeiten in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

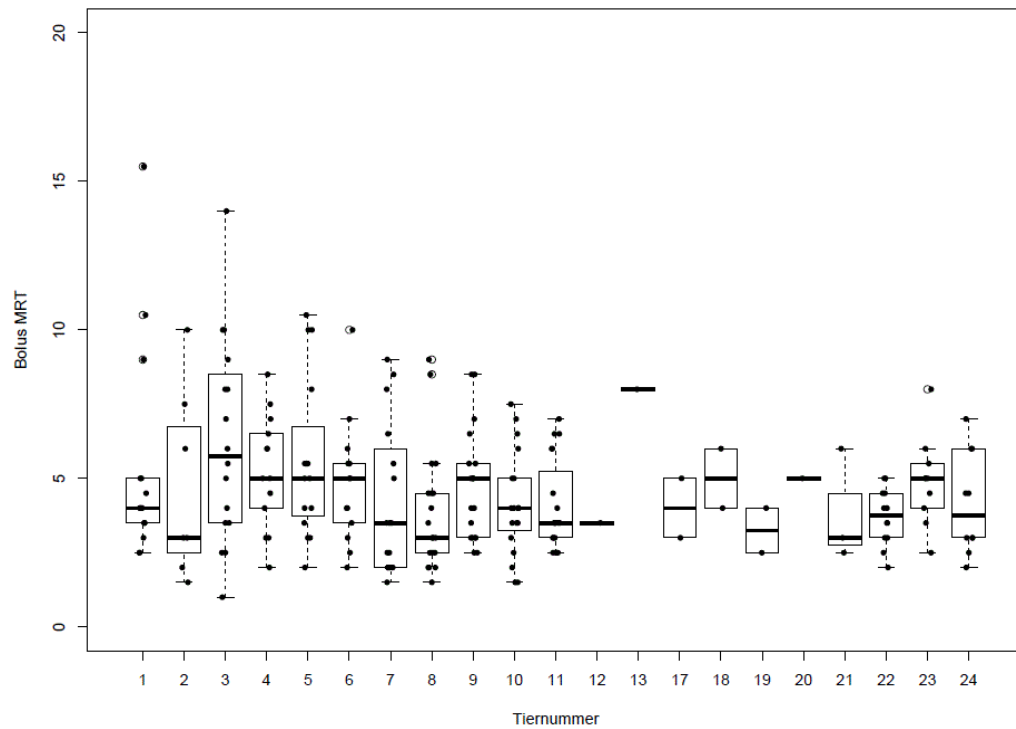


Abbildung 16: „Bolus“-MRT (d) der einzelnen Individuen von *T. s. elegans* (Nr. 1 – 13) und *E. orbicularis* (Nr. 17 – 24). Jeder Punkt stellt hierbei eine Passage beim jeweiligen Tier dar

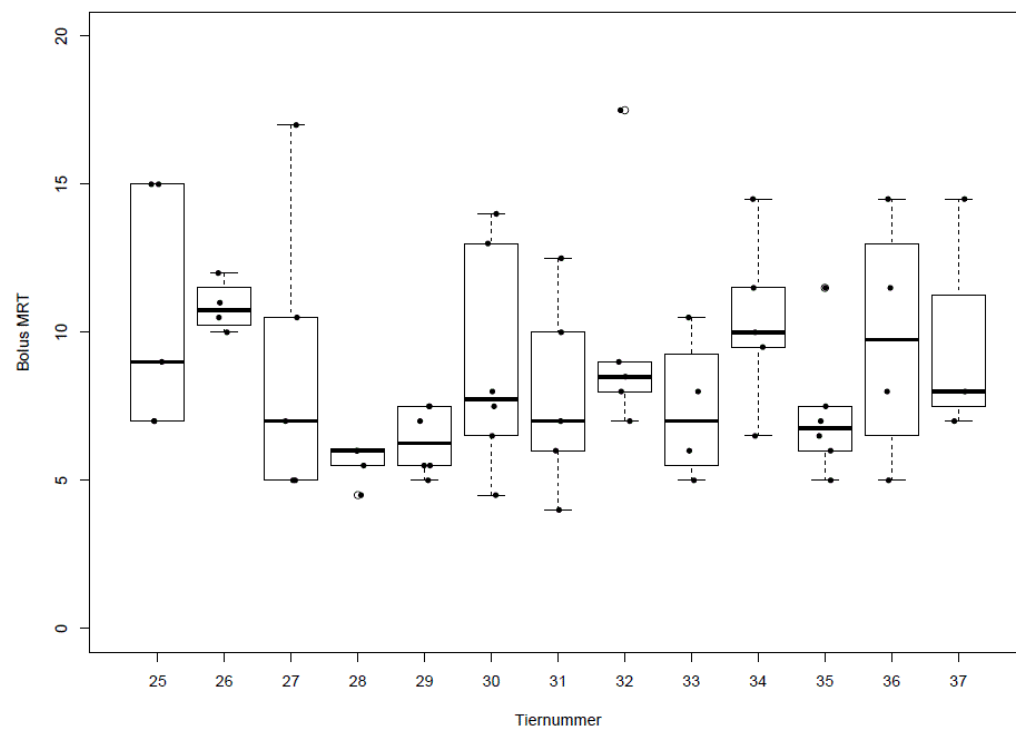


Abbildung 17: „Bolus“-MRT (d) der einzelnen Individuen von *T. h. boettgeri* (Nr. 25 - 37). Jeder Punkt stellt hierbei eine Passage beim jeweiligen Tier dar

3. Einfluss der Temperatur

Zunächst wurde der Zusammenhang der verschiedenen Temperaturgrößen, also bei den WSK Luft- und Wassertemperaturen und bei den LSK die durchschnittliche, minimale und maximale Lufttemperatur, mittels linearen Regressionen errechnet. Bei den WSK korrelierte die durchschnittliche Wassertemperatur stark linear mit der jeweiligen durchschnittlichen Lufttemperatur ($b = 0,76$; Intercept = 5,18), so dass hier für die weiteren Analysen die durchschnittliche Wassertemperatur als Vergleichsvariable festgelegt wurde. Bei den LSK wurde entsprechend die Durchschnitts-(Luft-)Temperatur als Vergleichsvariable ermittelt, da auch hier starke Korrelationen mit der Tagesmaximal- ($b = 1,13$; Intercept = 0,83) und der Tagesminimal-Temperatur ($b = 0,87$; Intercept = 0,83) auftraten.

Für die drei SK-Arten ist im Folgenden die „Bolus“-MRT als Maß für die PZ in Relation zur Durchschnittstemperatur dargestellt (Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20).

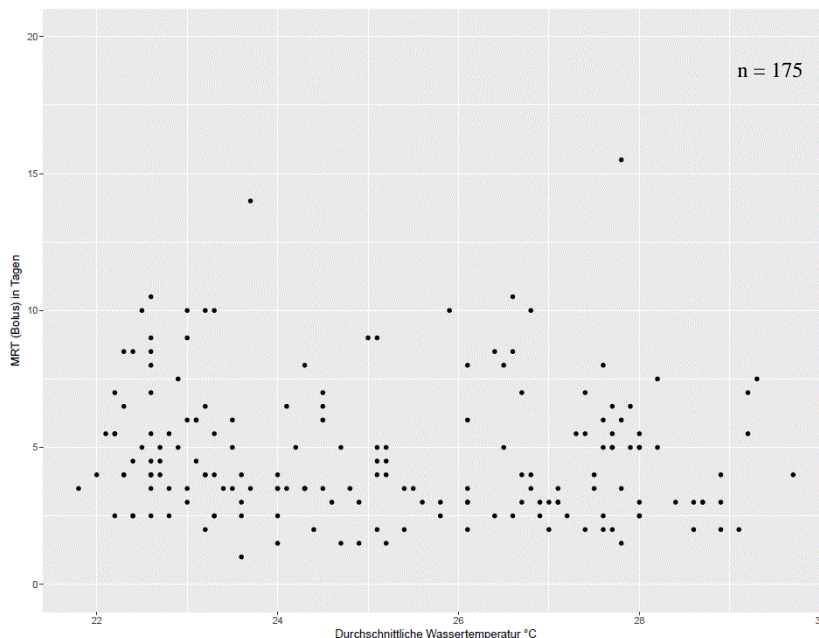


Abbildung 18: „Bolus“-MRT bei *T. s. elegans* in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

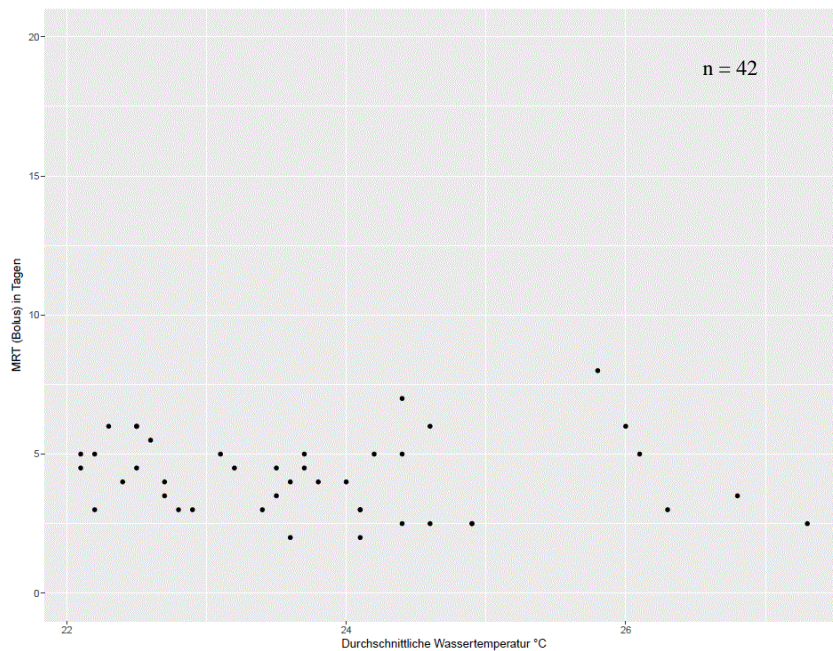


Abbildung 19: „Bolus“-MRT bei *E. orbicularis* in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

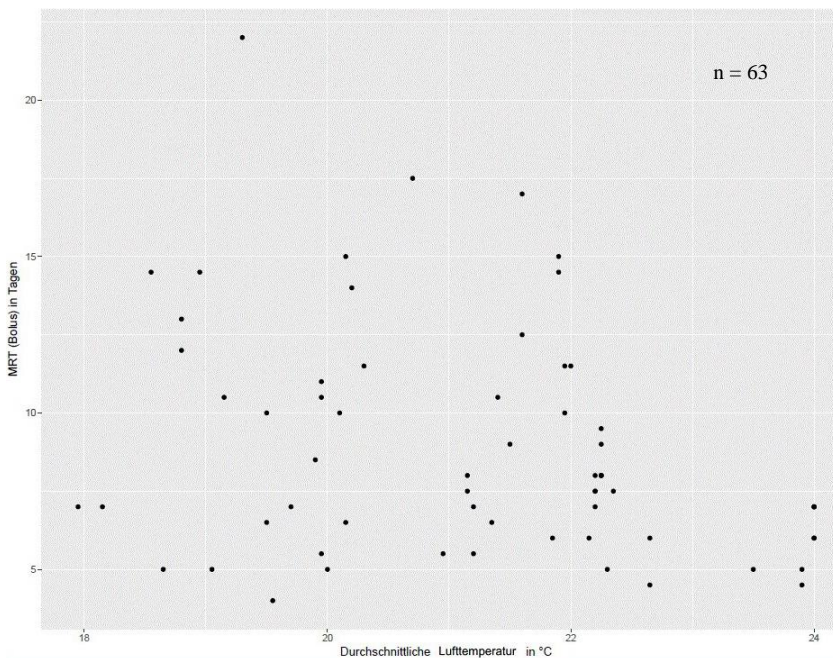


Abbildung 20: „Bolus“-MRT bei *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von der Lufttemperatur

Bei *T. s. elegans* lagen die MRT-Werte bis auf 2 Messungen in einem Bereich von 10,5 Tagen oder kürzer ($n = 175$), bei *E. orbicularis* lagen alle in einem Bereich von 8 Tagen oder kürzer ($n = 42$) und bei *T. h. boettgeri* wurden bis auf 3 Messungen immer Werte von maximal 15 Tagen ermittelt ($n = 63$). Die Messwerte zeigten sich bei allen drei Arten stark über den Temperaturbereich verteilt, so dass kein Trend festgestellt werden konnte. Daher wurden die Werte

zusätzlich anhand von Sample Regressionen untersucht. Hierfür wurden 10x von jedem Tier der jeweiligen SK-Art jeweils eine Beobachtung zufällig gezogen, ausgewertet und daraus jeweils der Durchschnitt errechnet (Anhang Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34 und Tabelle 14). Auch im zufälligen Sample ergab sich bei den WSK kein und bei den LSK nur ein leichter negativer Trend. Dies bedeutet, dass bei den LSK die PZ im Studien-Temperaturbereich tendenziell pro gestiegenem °C um rund 1/4 bis 1/2 Tag kürzer war ($b = -0,45$ (Mittelwert) und $-0,28$ (Median)).

4. Einfluss der Kalenderwochen (Saison)

Um den Einfluss der KW auf die PZ zu untersuchen, wurden zunächst wieder alle „Bolus“-MRT-Werte in einem Streudiagramm dargestellt (Abbildung 21).

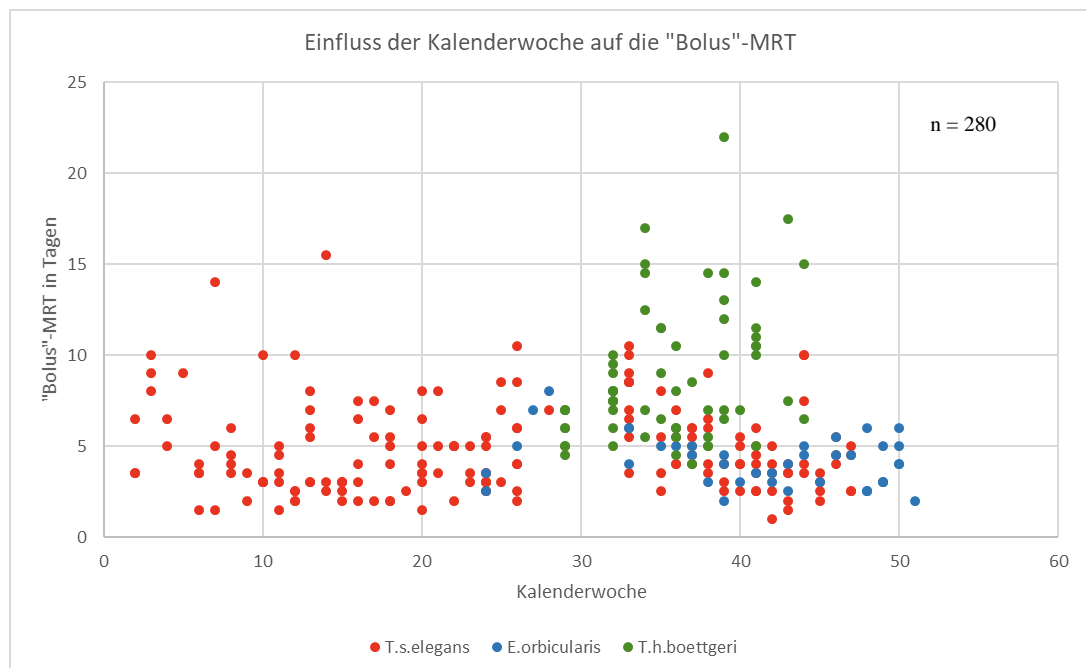


Abbildung 21: Einfluss der Kalenderwoche auf die "Bolus"-MRT bei den drei SK- Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri*

Auch hier war die Verteilung der einzelnen Werte innerhalb der jeweiligen Punktwolken groß. Nur bei den LSK *T. h. boettgeri* (grüne Punkte) resultierten alle Passagen, die bis zur KW 32 (Anfang August) begannen, in deutlich kürzeren MRT (bis maximal 10 Tage) als die der folgenden Wochen (bis maximal 22 Tage). Da ansonsten im Streudiagramm kein Verteilungsmuster erkennbar war, wurde ein möglicher Zusammenhang zusätzlich durch lineare Regressionen überprüft (Tabelle 9).

Tabelle 9: Lineare Regressionen von „Bolus“-MRT und Kalenderwoche

Art	b	Intercept
<i>T. s. elegans</i>	-0,009	4,988
<i>E. orbicularis</i>	-0,058	6,573
<i>T. h. boettgeri</i>	0,318	-2,440

Bei den WSK *T. s. elegans* und *E. orbicularis* wurde eine fehlende Korrelation von KW und MRT durch lineare Regression erhärtet, jedoch zeigte sich diesbezüglich ein sehr leichter linearer Zusammenhang bei den LSK ($b = 0,318$). Somit bestätigte dies, dass die PZ der LSK bei weit fortgeschrittenen KW tendenziell länger dauerten.

5. Körpergewicht

5.1. Gewichtsentwicklung der Tiere

Zur Beurteilung der Gewichtsentwicklung im Rahmen der Studie wurde die Differenz aus Start- zu Endgewicht jedes Tieres ermittelt und daraus die durchschnittliche Gewichtsentwicklung pro Tag errechnet:

Bei den *T. s. elegans* zeigten 11 Tiere Zunahmen von 0,01 – 0,31 % pro Tag und nur 2 Tiere zeigten eine Abnahme von 0,01 – 0,05 % pro Tag.

Bei den *E. orbicularis* hielten 2 Tiere ihr Gewicht exakt ein, 4 Tiere nahmen um 0,01 – 0,15 % pro Tag zu und 2 Tiere um 0,08 % pro Tag ab.

Bei den *T. h. boettgeri* nahmen 10 Tiere um 0,01 – 0,17 % pro Tag zu und 3 Tiere um 0,02 - 0,03 % pro Tag ab.

5.2. Einfluss des Körpergewichtes

Um den Einfluss des KG auf die Passagezeit zu untersuchen, wurden alle „Bolus“-MRT-Werte zunächst in einem Streudiagramm dargestellt (Abbildung 22).

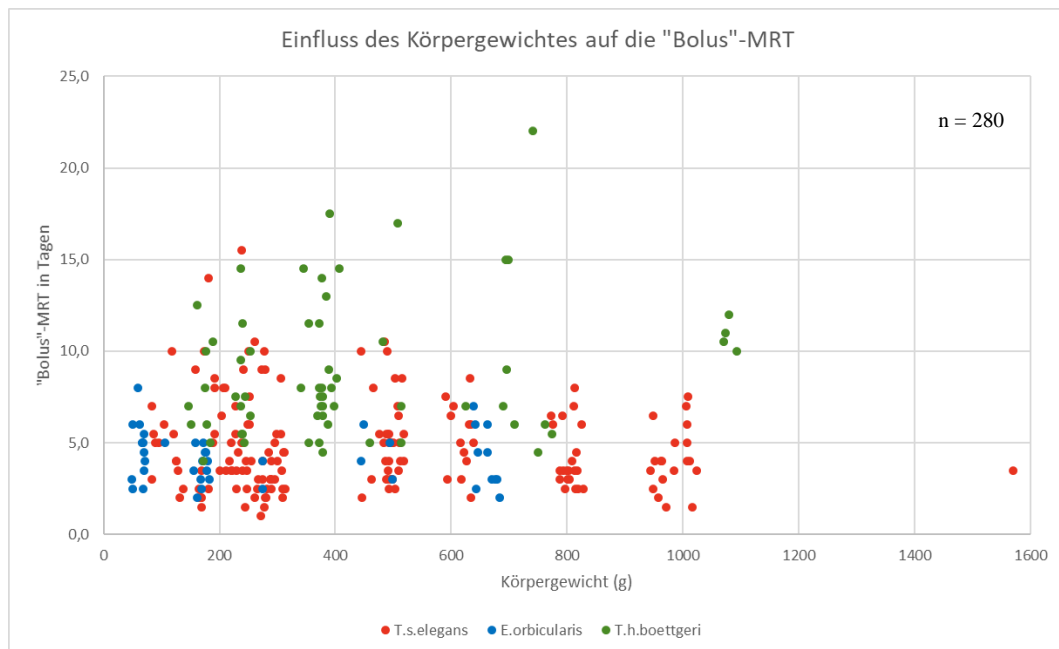


Abbildung 22: Einfluss des Körpergewichtes auf die "Bolus"-MRT bei den drei SK- Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* (alle Messwerte)

Da die Verteilung innerhalb der Punktwolken stark ausgeprägt und ebenfalls keinerlei Muster erkennbar ist, wurden wiederum (getrennt für WSK und LSK) bei je 10 Individuen Sample Regressionen aller Passagen des Individuums erstellt (Anhang Tabelle 15 und als Beispiel Abbildung 35).

Außerdem wurden lineare Regressionen getrennt für die Arten und die Altersgruppen errechnet (Anhang Tabelle 16). Auch hier war kein Zusammenhang zwischen KG und Dauer der MRT ersichtlich.

6. Einfluss des Geschlechts (Wasserschildkröten)

Ein Einfluss des Geschlechts auf die MRT konnte lediglich bei den WSK untersucht werden, da bei ihnen männliche und weibliche Tiere für die Studie verfügbar waren. Die „Bolus“-MRT wurde dazu, für beide Geschlechter getrennt, in Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt. Für die LSK *T. h. boettgeri* wurden die Werte für die männlichen Tiere visualisiert.

Bei Betrachtung aller Einzel-Messwerte (Abbildung 23) fiel auf, dass die MRT beider WSK-Arten im selben Bereich lagen. Auch die Werte der männlichen und weiblichen Tiere derselben Art hatten sehr ähnliche Spannweiten und einen ähnlichen zentralen Bereich (mittlere 50 % der Messwerte in der Box), auch wenn bei beiden Arten der Median der Männchen etwas über dem der Weibchen lag (0,25 Tage höher bei *E. orbicularis* bzw. 1 Tag höher bei *T. s. elegans*).

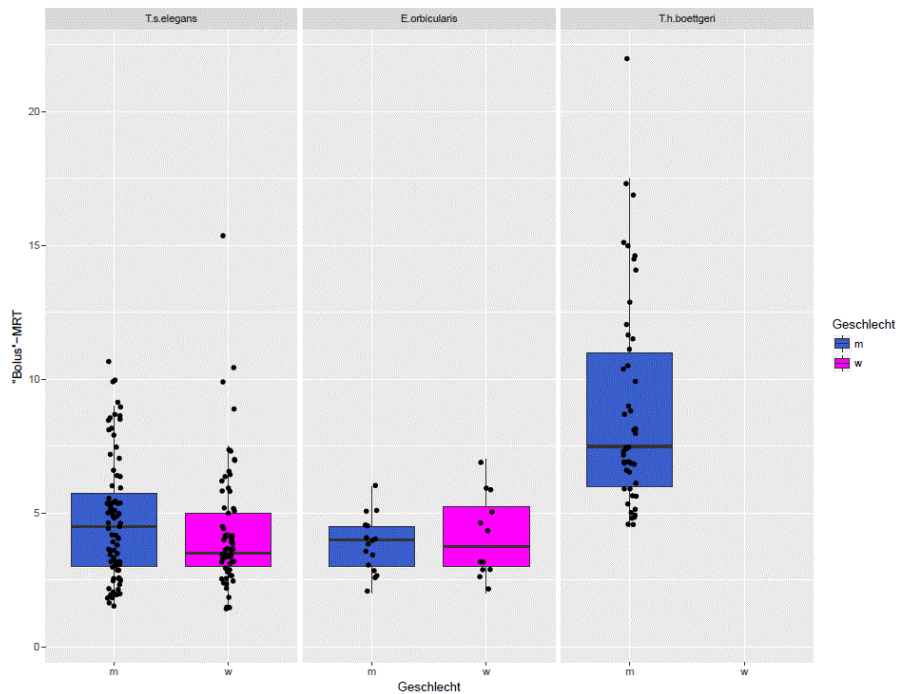


Abbildung 23: „Bolus“-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit vom Geschlecht unter Einbeziehung aller individuellen Messwerte

Bei Berechnung der Mittelwerte (Durchschnitt) aller Einzelwerte pro Art und Geschlecht anstatt der Mediane betrug der Unterschied zwischen Männchen und Weibchen beider Arten nur noch 0,3 Tage, wobei bei den *T. s. elegans* die Männchen und bei den *E. orbicularis* die Weibchen die höhere MRT hatten.

Daher wurde zusätzlich die Verteilung anhand der Mittelwerte je Individuum betrachtet (Abbildung 24). Auch bei Betrachtung der „Bolus“-MRT-Mittelwerte je Individuum zeigten sich nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die Diskrepanz war bei den *T. s. elegans* im Median geringer als bei Betrachtung aller Messwerte und bei den *E. orbicularis* zeigten die Weibchen geringfügig längere MRT als die Männchen.

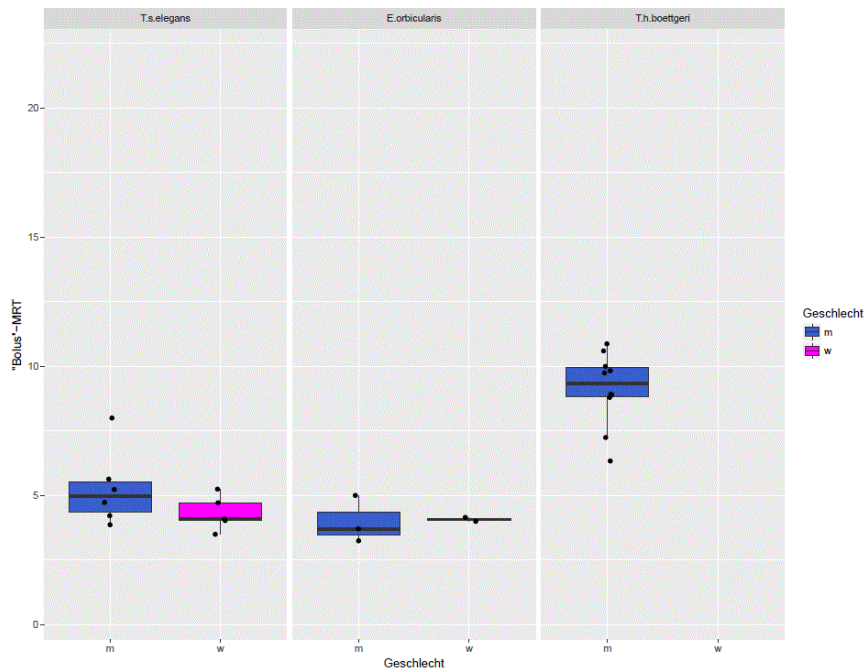


Abbildung 24: „Bolus“-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit vom Geschlecht unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum

7. Einfluss des Alters

Um einen eventuellen Einfluss der Altersgruppe auf die MRT zu erkennen, wurden basierend auf den Messwerten Boxplots getrennt für Jungtiere und adulte Tiere aller drei Arten angefertigt. Zunächst wurden für die Boxplots alle erfassten Messwerte (Abbildung 25) und die Mittelwerte je Individuum (Abbildung 26) einbezogen.

An der Verteilung der Daten aller Messwerte (Abbildung 25) war ein leichter Alterseffekt über alle Arten erkennbar. Im Median war die mittlere Retentionszeit der Jungtiere aller drei Arten ca. 1,25 Tage länger als die der Adulten. Bei Betrachtung der mittleren 50 % aller Messungen waren lediglich bei den WSK die Werte der Jungtiere gegen die der Adulten verschoben. Bei allen Arten war jedoch die Spanne der ermittelten MRT zwischen Jungtieren und Adulten nahezu identisch.

Bei Betrachtung der Mittelwerte je Individuum (Abbildung 26) blieb dieser Effekt, dass die Jungtiere eine langsamere Passage hatten als die Adulten, bei den WSK größtenteils erhalten, während sich bei den LSK das Verhältnis umkehrte: hier war nun die MRT der Adulten länger. Zu beachten ist hier jedoch, dass bei

allen Arten nur wenige Jungtiere in der Stichprobe vorhanden waren (2 bei *T. s. elegans*, jeweils 3 bei *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri*), auch wenn sich deren Datenpunkte (bis auf eine juvenile *E. orbicularis*) aus jeweils 3 - 16 Messungen zusammensetzten.

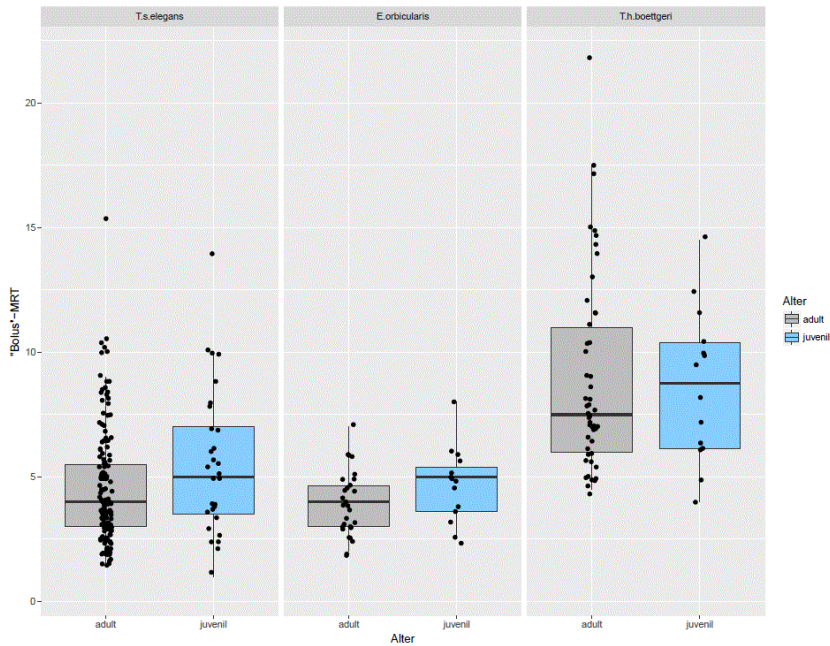


Abbildung 25: "Bolos"-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von den Altersgruppen unter Einbeziehung aller individuellen Messwerte

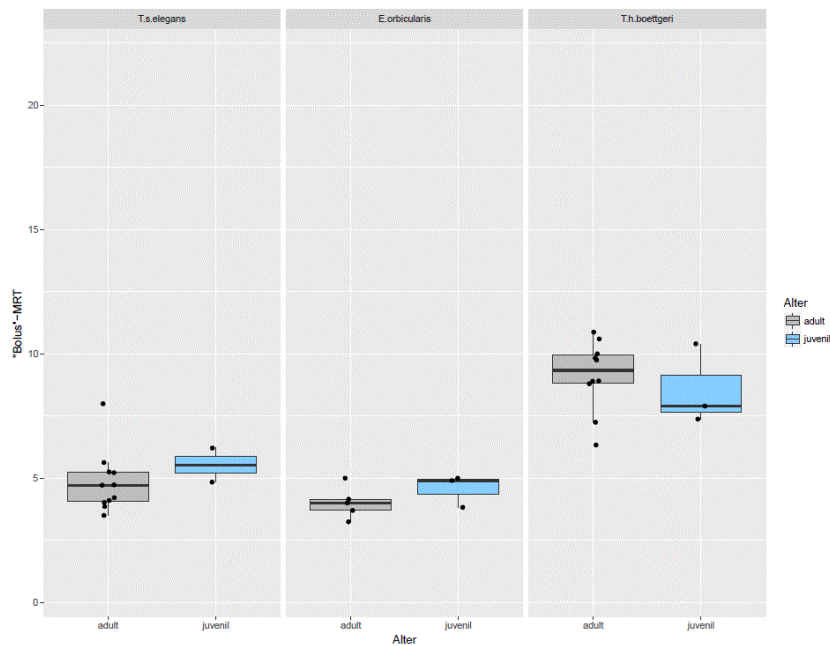


Abbildung 26: "Bolos"-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von den Altersgruppen unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum

Aufgrund eines möglichen überlagernden Einflusses der Futterart wurden zusätzlich für jede Art getrennt, wie in Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29 für die Mittelwerte aus den einzelnen Passagen für die Individuen dargestellt ist, Boxplots mit Aufteilung in die verschiedenen Futterarten erstellt. Es wurde bei den *T. s. elegans* und den *E. orbicularis* deutlich, dass Unterschiede in der MRT bei den verschiedenen Futterarten gleichermaßen bei Adulten und Juvenilen auftraten. Bei *T. h. boettgeri* lag die MRT der Adulten bei Faserangereicherter Fütterung jedoch deutlich über der der jüngeren Tiere. Ähnliche Grafiken ergaben sich auch bei Betrachtung aller Einzel-Messwerte (Grafiken nicht abgebildet).

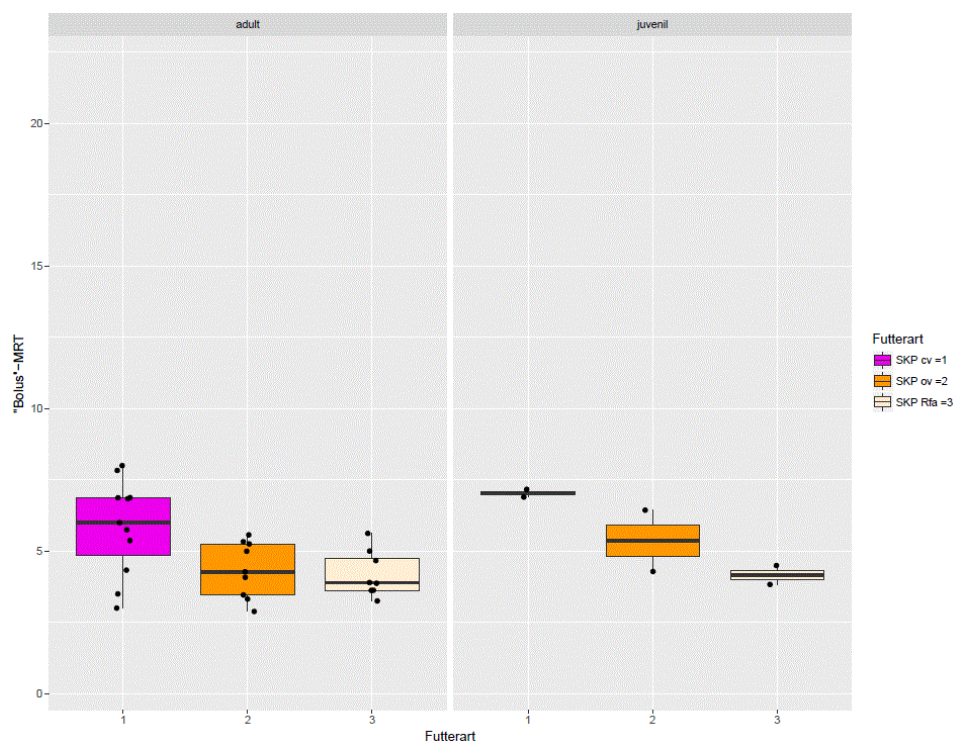


Abbildung 27: "Bolus"-MRT der *T. s. elegans* in Abhängigkeit von den Altersgruppen und den Futterarten unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum

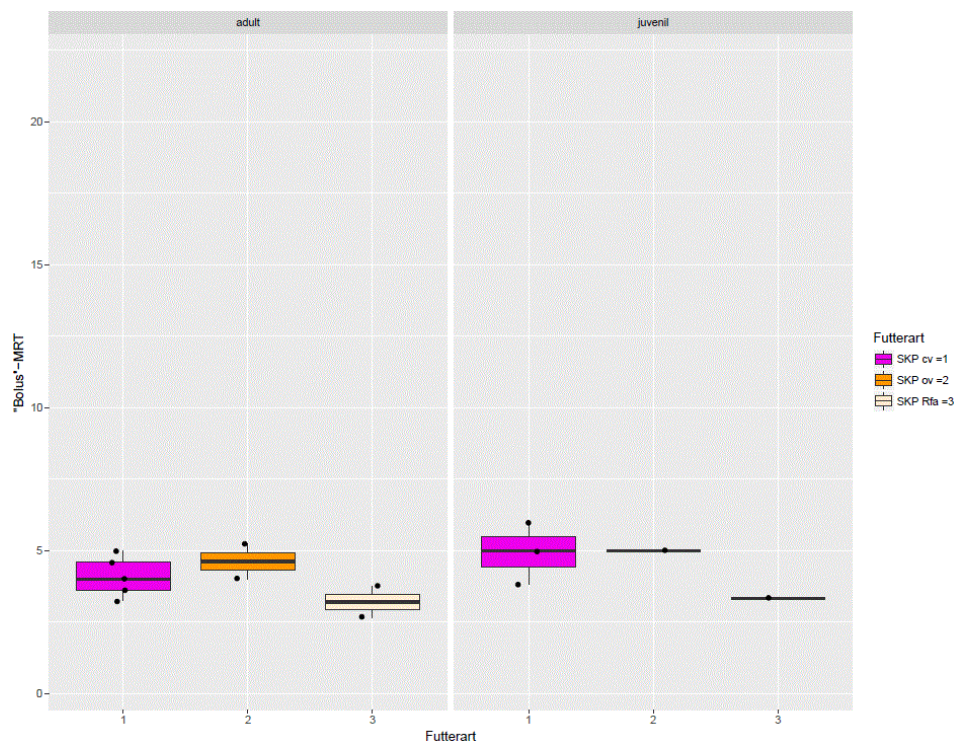


Abbildung 28: "Bolus"-MRT der *E. orbicularis* in Abhängigkeit von den Altersgruppen und den Futterarten unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum

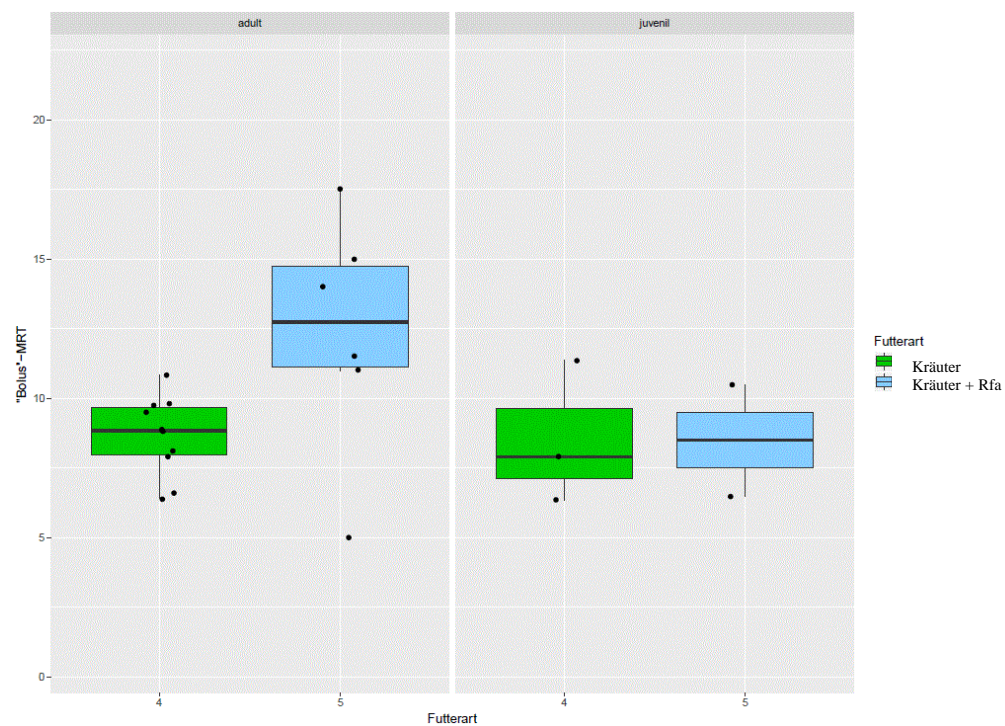


Abbildung 29: "Bolus"-MRT der *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von den Altersgruppen und den Futterarten unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum

8. Einfluss der Fütterung

8.1. Einfluss der Futtermenge (Wasserschildkröten)

Mittels linearen Regressionen wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der Futtermenge und der Futterart, der Wassertemperatur und der MRT bei beiden WSK-Arten überprüft. Die sich aus den Streudiagrammen ergebenden Werte der linearen Regressionen sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Lineare Regressionen von Futtermenge und Futterart, Wassertemperatur und MRT bei den WSK

	Art	b	Intercept
Futterart	<i>T. s. elegans</i>	0,1379	0,9367
	<i>E. orbicularis</i>	0,3437	1,0269
Wassertemperatur	<i>T. s. elegans</i>	-0,1573	25,405
	<i>E. orbicularis</i>	-0,3974	24,411
MRT	<i>T. s. elegans</i>	0,0006	4,68
	<i>E. orbicularis</i>	0,4954	3,4182

Es zeigte sich für *T. s. elegans* weder ein linearer Zusammenhang zwischen der Futtermenge und der Futterart, noch zwischen der Futtermenge und der Wassertemperatur oder der MRT. Jedoch bestand ein leichter Zusammenhang bei den *E. orbicularis* bezüglich der Futterart und der Wassertemperatur und ein etwas stärkerer Zusammenhang in Bezug auf die MRT: tendenziell bekamen die Tiere vom SKP cv etwas weniger zu fressen, als vom SKP ov und von diesem wiederum etwas weniger, als vom SKP Rfa. Außerdem fraßen die Tiere tendenziell mehr bei niedrigeren Temperaturen und die MRT stieg um durchschnittlich einen halben Tag bei einer Erhöhung der Futtermenge um 1 % des KG (Tabelle 10). Aufgrund der beobachteten Effekte bei den *E. orbicularis* wurden zur weiteren Differenzierung die durchschnittlichen Futtermengen getrennt für beide Altersgruppen errechnet (Tabelle 11):

Tabelle 11: Durchschnittliche Futtermenge bei den Altersgruppen der WSK

Art	Alter	Futtermenge (% des KG)	n
<i>T. s. elegans</i>	Juvenil	1,7	28
	Adult	1,2	138
<i>E. orbicularis</i>	Juvenil	2,5	14
	Adult	1,1	28

n = Anzahl der Passagen

Hier wurde ersichtlich, dass die juvenilen *E. orbicularis* fast das 2,5fache im Vergleich zu den Adulten fraßen, während die juvenilen *T. s. elegans* nicht einmal 50 % mehr aufnahmen als die Adulten.

8.2. Einfluss der Futterart

Zunächst ist hinsichtlich der Nomenklatur auf folgendes hinzuweisen: Zellulose (bzw. Kräuter) wurden dem Grundfutter (SKP cv bei den WSK und Wildkräutern bei den LSK) zur möglichst einfachen Veränderung des Rfa-Gehaltes beigemischt. Da jedoch die verschiedenen Futterarten bezüglich der anderen Nährstoffgehalte (z. B. Energie-, Protein- und Fettgehalt usw.) nicht genormt waren, ist nicht auszuschließen, dass Effekt-Unterschiede zwischen den Futtermitteln ursächlich auf einen dieser anderen Nährstoffe zurückzuführen sind. Jedoch beträgt die Differenz der Nährstoffe z. B. von SKP cv zu SKP Rfa in Bezug auf Energie, Rp, Rfe und Nfe maximal 7,8 %, während der Rfa-Gehalt um 203 % schwankt (Tabelle 4). Daher wird im Folgenden von einem eventuellen Effekt der Rohfaser gesprochen.

Ein Überblick über den Einfluss der Futterarten auf die MRT wird in Abbildung 30 und Abbildung 31 gegeben.

Sowohl in der Betrachtung aller Messwerte, als auch in der Betrachtung der Mittelwerte je Individuum wurden folgende Effekte erkennbar:

- Die MRT zeigte Varianzen je nach Futterart bei allen drei Arten.
- Bei den WSK lag die MRT meist bei knapp unter 5 Tagen. Nur beim SKP cv zeigten die *T. s. elegans* im Median eine um ca. 2,5 Tage längere MRT, während die *E. orbicularis* beim SKP Rfa eine um fast 2 Tage kürzere MRT aufwiesen.
- Bei den *T. h. boettgeri* bestand eine Differenz der Mediane von ca. 3 Tagen zwischen den Passagen bei reiner Kräuterfütterung und der Fütterung von Kräutern mit Zellulosepulver. Allerdings ist auch eine starke Streuung auffällig. Die MRT der Passagen mit der Zelluloseanreicherung erstreckten sich weitgehend über denselben Bereich, wie die bei reiner Kräuterfütterung.

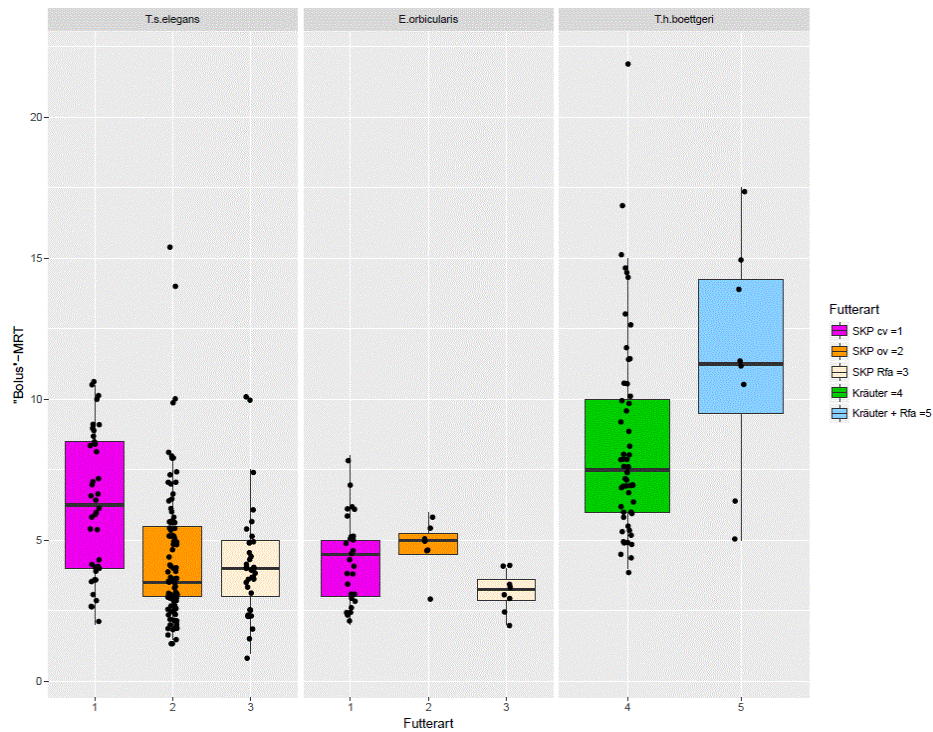


Abbildung 30: „Bolus“-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von den Futterarten unter Einbeziehung aller individuellen Messwerte (SKP cv = carnivore Variante; SKP ov = omnivore Variante; SKP Rfa = mit Zellulosepulver angereicherte Variante; Kräuter + Rfa = mit Zellulosepulver angereicherte Wildkräuter)

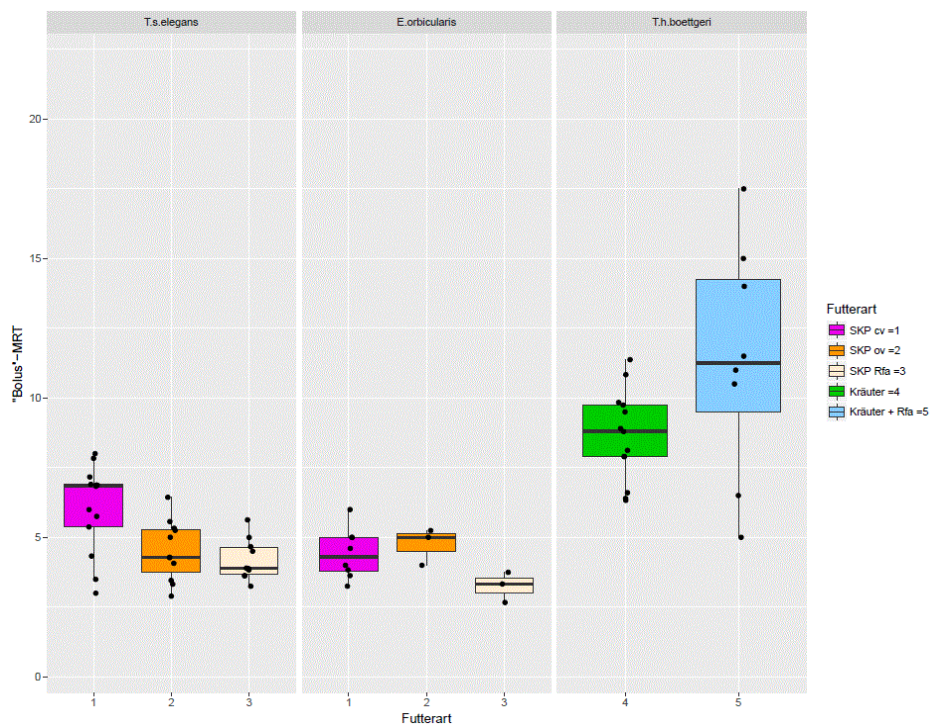


Abbildung 31: „Bolus“-MRT der drei SK-Arten *T. s. elegans*, *E. orbicularis* und *T. h. boettgeri* in Abhängigkeit von den Futterarten unter Einbeziehung der Mittelwerte je Individuum (SKP cv = carnivore Variante; SKP ov = omnivore Variante; SKP Rfa = mit Zellulosepulver angereicherte Variante; Kräuter + Rfa = mit Zellulosepulver angereicherte Wildkräuter)

Bei getrennter Betrachtung der verschiedenen Passagezeit-Variablen t_{\min} , MRT und t_{\max} fiel auf, dass diese einzelnen Variablen die PZ je nach SK-Art unterschiedlich beeinflussten (Tabelle 12).

Tabelle 12: Passagezeiten (Median) bei den drei Schildkrötenarten in Abhängigkeit von der Futterart unter Einbeziehung aller individuellen Messwerte

Art	Futter	t_{\min}	MRT	t_{\max}	n
<i>T. s. elegans</i>	cv	3	6,3	9	40
	ov	1	3,5	6	98
	Rfa	1	4	6	37
<i>E. orbicularis</i>	cv	2	4,5	5	27
	ov	2	5	7	7
	Rfa	2	3,3	4,5	8
<i>T. h. boettgeri</i>	Kräuter	6	7,5	9	55
	Kräuter + Rfa	7,5	11,3	14	8

n = Anzahl der Passagen

cv = SKP carnivor; ov = SKP omnivor; Rfa = SKP mit Zellulosepulver

Kräuter + Rfa = Wildkräuter mit Zellulosepulver

t_{\min} = Transitzeit; von Ingestion bis zur ersten Markerexkretion

MRT = Mittlere Retentionszeit; errechneter Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max}

t_{\max} = Zeit von der Ingestion bis zur letzten Markerexkretion

Bei *T. s. elegans* mit SKP cv war die t_{\min} mit Median 3 Tagen länger als bei den anderen Futtersorten, während die Zeitspanne zwischen t_{\min} und t_{\max} mit jeweils ca. 6 Tagen ähnlich war.

Bei *E. orbicularis* betrug die Transitzeit bei allen Futterarten im Median mindestens 2 Tage, hier wurde aber beim SKP Rfa die MRT 1,2 - 1,7 Tage früher erreicht. Das omnivore Futter wurde von dieser Art meist am langsamsten passagiert.

Bei *T. h. boettgeri* lag die t_{\min} bei zelluloseangereicherten Kräutern im Median nur 1,5 Tage über der t_{\min} bei reinen Kräutern, die Passagen streckten sich dann in der Folge aber im Median über einen längeren Bereich, so dass die t_{\max} 5 Tage und dementsprechend auch die MRT 3,8 Tage länger war. Der Unterschied in der MRT fiel bei Betrachtung der Mittelwerte je Individuum mit ca. 2,5 Tagen geringer aus.

V. DISKUSSION

Mit den vorliegenden Untersuchungen konnten grundlegende und neue, für die Forschung ebenso wie die klinische Anwendung relevante Erkenntnisse gewonnen werden. Im Folgenden werden der Studienaufbau und die weiteren möglichen Einflussfaktoren genau erörtert.

1. Der Marker Chromoxid und seine Beurteilung

Das Chromoxid wurde in der vorliegenden Studie **dosiert** als 10 % TS und liegt somit umgerechnet mitten in dem Bereich von 0,5 – 4 % des Futters, der in der Literatur beschrieben ist (z. B. KREULA, 1947; HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983; LEI, 2006). Diese Menge erzeugte eine gute Färbung des Kotes und war mit bloßem Auge gut erkennbar. Es wurden keine Nebenwirkungen bei den Tieren beobachtet.

WILLSON (1989) legte das Ende einer Passage mit zweimal Marker-freiem Kot ähnlich fest wie in der vorliegenden Studie. In einer Vorstudie zu dem hier präsentierten Projekt erwies sich jedoch eine dreimal hintereinander beobachtete Ausscheidung von unmarkiertem Kot als ein sehr sicheres Merkmal für die Festlegung des Passageendes, weil es danach nie zu einer weiteren grünen Ausscheidung ohne erneute Markerfütterung kam. Daher wurde „**dreimal normaler Kot**“ als entscheidendes Kriterium für das Ende einer Passage und somit auch als den frühestmöglichen Start einer neuen Passage festgelegt. Dies kann auch für weitere Studien als Richtwert empfohlen werden, sofern ebenfalls keine Quantifizierung der Markermenge erfolgen soll.

Über die **Verteilung** des Chromoxides im Kot kann bedingt durch die lediglich visuelle Beurteilung des Kotes keine exakte Aussage gemacht werden. Interessanterweise gab es aber etliche feste Kotballen, die an einem Ende vollständig naturfarben und am anderen Ende vollständig grün waren. Dies spricht vor dem Hintergrund der relativ simplen MDT-Anatomie von SK (Kap. II.2.1) eher für einen Vorschub der alten Ingesta durch neues Futter im MDT und stützt nicht die Auffassung, dass bei SK eine Entmischung der Ingesta erfolgt z. B. derart, dass das Chromoxid mit der flüssigen Phase der Ingesta „mitgeschwemmt“ wird. Auch innerhalb des grünen Kot-Bereiches zeigte sich der Farbstoff bei

Zerdrücken des Kotballens makroskopisch homogen verteilt. Die häufig beschriebene Entmischung der Ingesta im MDT (z. B. GUARD, 1980; SPENCER et al., 1998; HATT et al., 2002) ist hier somit zumindest visuell nicht nachzuvollziehen. In der Vergangenheit wurde sogar bei zeitversetzter Aufnahme von zwei unterschiedlichen Futtermitteln bei SK eine gute Durchmischung der Einzelfuttermittel im Kot beschrieben (BJORNDAL, 1991) und auch DAVENPORT et al. (1992) berichten, dass im MDT der SK *Batagur baska* keine Sortierung von Material erfolgte. Die Trennung von Flüssigkeiten und Partikeln innerhalb einer Passage ist daher offenbar sehr tierartspezifisch. Generell wurde Wiederkäuern die größte Verzögerung der Passage von Partikeln im Vergleich zu Flüssigkeiten zugeschrieben, während bei Nicht-Wiederkäuern jedoch kaum eine Separation stattfinden sollte (VAN SOEST, 1994).

Die Beurteilung des Kotes erfolgte in der vorliegenden Studie rein visuell, da es ansonsten für analytische Methoden (also die Quantifizierung des Chromoxides in den Fäzes) nötig gewesen wäre den Kot vollständig zu sammeln. Dafür notwendige „Auffangvorrichtungen“ mit ihrer Fixierung durch Löcher im Panzer wie bei BJORNDAL (1991) oder Auffangmethoden (z. B. durch Fixierung des ganzen Tieres an allen Gliedmaßen wie bei WOOD u. WOOD (1981) haben ethische und tierschutzrechtliche Relevanz (Verstoß gegen § 2 Nr. 2 sowie § 6 Abs. 1 S. 1 Tierschutzgesetz bei Nicht-Vorliegen einer Tierversuchsgenehmigung) und wurden daher bewusst zur Minimierung der Belastung für die Tiere nicht angewandt. So muss bedacht werden, dass die Hautschicht zwischen den Knochenplatten und der Hornschicht am Panzer gut durchblutet und innerviert und keinesfalls empfindungslos ist (SASSENBURG u. ZWART, 2015). Außerdem ist der SK-Panzer ein metabolisch aktives Gewebe, wachsend und stellt ein Pufferorgan bei Hypoxie und Azidose dar. Ein Panzertrauma kann daher den Kalorienbedarf erhöhen (DONOGHUE, 2006). Ein weiteres wichtiges Argument stellt jedoch auch die Tatsache dar, dass durch die Durchbohrung Schmerzen, Stress oder andere Reaktionen im Körper verursacht werden können, welche wiederum die Kotabsatz-Frequenz (BAUR, 2008d) oder anderweitig die Messergebnisse der Studien beeinflussen könnten (CASH et al., 1997; ROMERO u. REED, 2005; VALENTE et al., 2008).

2. Auszählungsvarianten und Artunterschiede

Die Angabe von Passagezeiten als t_{\min} , MRT und/oder t_{\max} sind in der Literatur gängig, auch wenn deren Definitionen nicht einheitlich sind (Anhang Tabelle 13). Noch nicht beschrieben sind hingegen die verschiedenen Auszählungsvarianten der PZ-Variablen t_{\min} , MRT und t_{\max} , die in der vorliegenden Studie gewählt wurden. Daher wird im Folgenden zunächst auf die hier verwendeten PZ-Variablen und im Anschluss auch auf deren Varianten der Auszählung eingegangen.

Die Transitzeit t_{\min} sollte aufgrund der sehr ähnlichen Definition (hier: visuelle Bestimmung der Zahl an Tagen von t_0 bis zum ersten Auftreten von Marker im Kot) und der guten Bestimmbarkeit sehr gut vergleichbar sein mit anderen Angaben für Transitzeiten in der Literatur z. B. zu der Zeitangabe von der ersten Markergabe bis zum ersten sichtbaren Erscheinen des Markers im Kot (MCMASTER u. DOWNS, 2008) oder zur Definition der Transitzeit als Zeit von der Markergabe bis zur Messung von 5 % Markeranteil im Kot (VAN SOEST, 1994) (Kap. II.4.3). Nur vereinzelt kam es in der t_{\min} zu Abweichungen zwischen der „langen“ und der „Bolus“-Auszählung (Tabelle 6), und zwar dann, wenn kleine Kotpuren als nicht sicher identifizierbar eingestuft wurden. Eine scheinbare „Verfälschung“ der Daten ist denkbar, falls gleich zu Anfang der Passage von einem Tier Kot gefressen wurde, bevor er notiert werden konnte. Somit kann die tatsächliche t_{\min} möglicherweise etwas kürzer sein als ermittelt. Aufgrund des in der Literatur beschriebenen schnellen Anstiegs der Markerausscheidung könnte die t_{\min} ausschließlich durch höhere Beobachtungs- und Wasserwechselintervalle genauer eingegrenzt werden. Eine Quantifizierung des Markers durch Laboranalysen würde vermutlich nur zu einem geringen Anstieg der Messgenauigkeit führen.

Auch die ermittelte t_{\max} überschätzt möglicherweise etwas die tatsächliche maximale PZ, da Kot vom Nachmittag bzw. Abend erst am nächsten Tag erfasst wurde. V. a. bei *T. s. elegans* traten hier Unterschiede zwischen der „Bolus“-Auszählung (ohne Kotpuren und nur bis zur ersten Verdünnung des Markeranteils im Kot) und der „langen“ Auszählung (vom ersten bis zum letzten sichtbaren Marker im Kot) auf. Dies könnte eventuell durch Aufnahme von grün markiertem Kot verursacht sein, so dass die gesamte Passagedauer artifiziell in die Länge gezogen sein könnte. Für weiterführende Studien kann daher die

Empfehlung gegeben werden, dass v. a. bei *T. s. elegans* ein Verhindern der möglicherweise auftretenden Kotaufnahme wichtig wäre. Denkbar wäre hier vielleicht die Einrichtung eines doppelten Bodens gewesen, z. B. aus Draht mit einer entsprechenden Maschenweite, so dass der Kot leicht und schnell hindurch fallen kann. Da dann allerdings für die Tiere eine erhöhte Verletzungs- und Ertrinkungsgefahr bestehen könnte, wurde in der vorliegenden Studie auf eine solche Vorrichtung verzichtet.

Entgegen einer Angabe in der Literatur, dass juvenile **LSK** regelmäßig ihren Kot fressen (BROSDA, 2013), wurde bei den LSK der vorliegenden Studie keine **Koprophagie** beobachtet. Da außerdem bei Kot-Schmierspuren auf dem Zeitungsuntergrund auch immer ein dazugehöriger Kothaufen zu finden war, wird Koprophagie (zumindest in relevantem Ausmaß) hier als sehr unwahrscheinlich erachtet. In der vorliegenden Studie wurden allerdings ältere (quasi subadulte) Jungtiere und adulte Tiere untersucht. Bei *E. orbicularis* wurde ebenfalls nie Koprophagie beobachtet, sie ist aber aufgrund der freien Bewegungsmöglichkeit der Tiere und aufgrund des Verzichts auf „Kot auffangvorrichtungen“ nicht vollständig auszuschließen. Bei *T. s. elegans* wurde bei einzelnen Tieren vereinzelt Koprophagie beobachtet. In der Tat drängte sich sogar der Eindruck auf, dass manche WSK (je nach Veranlagung mehr oder weniger) durch die Anwesenheit der pflegenden Person in Erwartung des bald zugeteilten Futters zur Koprophagie angeregt wurden. Bemerkenswert ist daher, dass außer BROSDA kein anderer Autor, der ebenfalls keine „Kot auffangvorrichtungen“ verwendet hat, über die Beobachtung von Koprophagie schreibt. So konnten z. B. HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE (1983) den Kot von *Chelonia mydas* erstaunlicherweise abseihen und anschließend quantitativ als Gesamtkot analysieren, obwohl die Tiere ebenfalls frei schwimmen und dabei eigentlich auch Kot aufnehmen konnten. Zudem wurden die Becken über ein Durchlaufsystem mit frischem Meerwasser versorgt, so dass (basierend auf den in der vorliegenden Studie gemachten Erfahrungen, dass die WSK nur manchmal festen und ansonsten losen Kot ins Wasser abgeschieden haben) zu erwarten gewesen wäre, dass ein Großteil des losen Kotes abgeschwemmt wird. Die Ausscheidung von losem Kot ist für WSK physiologisch (JESSOP u. BENNETT, 2010).

Die **MRT** gibt ein mittleres Maß der Passagedauer an. Da sie hier als Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max} errechnet wurde, welche beide im Vergleich zu den tatsächlichen t_{\min} - und t_{\max} -Werten überschätzt sein können, muss auch sie im

Vergleich mit anderen MRT-Angaben aus der Literatur eher überschätzt sein. Bei exakter Quantifizierung der Markermenge im Kot kann die MRT auch als der Zeitpunkt definiert werden, an dem die Hälfte der aufgenommenen Markermenge ausgeschieden ist. Dieser Zeitpunkt ist bei physiologischem Ausscheidungsmuster, das einer Kurve mit steilem Anstieg und langsamem Abfall folgt (Abbildung 4) aufgrund der frühen Ausscheidungsspitze schneller erreicht, als bei einer Errechnung als Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max} . Aufgrund dieser am Anfang konzentrierten Hauptausscheidung ist allerdings auch eine geringe Ausscheidung von Chromoxid gegen Ende der Passage (nach dem peak), die möglicherweise in der vorliegenden Studie übersehen wurde, als Einflussfaktor auf die MRT vernachlässigbar, wenn die MRT wie bei NORCONK et al. (2002) der t_{50} , wie sie in Tabelle 13 im Anhang dargestellt ist, entspricht.

Die „**lange**“ **Auszählungsvariante** wurde entsprechend der PZ-Definition einer vollständigen Detektion von Marker (z. B. wie bei HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983) gewählt. Sie beinhaltet somit alle Tage, an denen grüne Ausscheidung beobachtet wurde. Ohne die in Einzelfällen beobachtete Koprophagie wäre sie möglicherweise die Messung der Wahl für die t_{\min} und t_{\max} , da ihre Zählung besonders klar und praktikabel definiert ist. Wie bei Studien mit quantitativer Markererfassung war auch in der vorliegenden Studie durch die semiquantitative Notation ein gewisser Abfall der Markerkonzentration im Kot (entsprechend dem Abfall der Marker-Ausscheidung nach dem „peak“) erkennbar und nachvollziehbar. Dadurch konnte bei einigen Passagen v. a. bei den *T. s. elegans* ein zweiter, auf den ersten Marker-Ausscheidungs-Peak folgender Peak festgestellt werden. Ein solcher zweiter Peak wurde bisher in keiner Literaturquelle beschrieben. Da bei einzelnen Tieren und zwar v. a. bei *T. s. elegans* Koprophagie beobachtet wurde (in 5 der 175 Passagen), liegt die Vermutung nahe, dass dieser erneute Ausscheidungspeak durch die Wiederaufnahme von markerhaltigem Kot bedingt war.

Aufgrund der sporadisch beobachteten Koprophagie und der Ausscheidung von losem Kot bei den WSK mit dem Vorkommen von geringen Kotspuren wurden nach der Datenerhebung alle Passagen alternativ als „**Boluszeiten**“ ausgezählt. Für die Auszählungen wurden die Kalendertage (oder „Kottage“, s. u.) vom Tag der Markerfütterung, t_0 , bis zum Erreichen von t_{\min} oder t_{\max} gezählt. Dies ist genauer beschrieben in Kapitel III.3. Für die Boluszeiten wurde die Passage ebenfalls nach dreimaliger Beobachtung normalfarbenen Kotes als beendet

angesehen, es sei denn, es wurde schon vorher ein weiterer Ausscheidungspeak oder die Aufnahme von grünem Kot beobachtet. In diesen Fällen wurde die Passage direkt vor dem zweiten Peak oder am Tag der Wiederaufnahme als beendet beurteilt. Diese Ungenauigkeit, die wahrscheinlich durch die Aufnahme von markerhaltigem Kot verursacht wurde, hätte durch ein Studiendesign mit vollständiger Kotsammlung vermieden werden können. Dies wurde aber, wie weiter oben bereits erläutert, aus Tierschutzgründen in Kauf genommen. Das Verkürzen der „Bolus“-Zeiten dadurch, dass nicht sicher identifizierbare Kotspuren nicht in die Zählung einbezogen wurden, entspricht in seiner Ungenauigkeit möglicherweise Studien, bei denen eine Einschränkung der Zählung der detektierten Markermenge von beispielsweise 5 bis 80 % (VAN SOEST, 1994) oder bis 95 % (PRYOR u. BJORN DAL, 2005) durchgeführt wurde, was einer häufigen Vorgehensweise entspricht. Das Ignorieren kleiner Kotmengen in der Boluszählung entspricht somit vermutlich in etwa dem Nicht-Mitzählen von kleinen Markermengen (z. B. der ersten und letzten 5 %) in einer quantifizierenden Methode und sollte dementsprechend vergleichbar sein. Die „langen“ und die „Bolus“-Auszahlungen unterscheiden sich allerdings nur bei *T. s. elegans* in relevantem Ausmaß (Abbildung 9 und Tabelle 6). Dabei schien aber, wie bereits beschrieben, eine Verfälschung der PZ-Daten durch Koprophagie vorzuliegen. Zudem war, wie weiter unten dargestellt, kein diesbezüglicher Einfluss durch die Altersgruppen oder Futterarten erkennbar (Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13). Daher wurde die „Boluszeit“ als sinnvolle Variable beurteilt und die Darstellung der Daten wurde in der folgenden Auswertung auf die Boluszeiten beschränkt.

Interessant ist die Tatsache, dass die MRT der *E. orbicularis* im Durchschnitt kürzer waren als bei den anderen beiden Arten (Abbildung 9). Dies ist besonders bemerkenswert vor dem Hintergrund, dass die *E. orbicularis* im Durchschnitt kälteren Umgebungstemperaturen (23,8 °C statt 25,2 °C bei den *T. s. elegans*) ausgesetzt waren. Demnach wären hier eher verlängerte PZ zu erwarten gewesen (PARMENTER, 1981; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989; SPENCER et al., 1998; SADEGHAYOBI et al., 2011). Mögliche Gründe für die schnelleren PZ von *E. orbicularis* könnten sein, dass entweder ihre POTZ (Kap. II.4.4.1) durch die Haltungstemperaturen besser getroffen wurde als die der *T. s. elegans* oder dass hier tatsächlich ein Artunterschied in der Geschwindigkeit der Passage vorliegt. Dies könnte durch eine artspezifisch unterschiedliche Verdauung der

verschiedenen Futterarten entstanden sein. Denn bei getrennter Betrachtung der PZ der Futterarten war die MRT von *E. orbicularis* in dieser Studie im Median bei dem rohfaserreichsten Futter (SKP Rfa) kürzer als bei der rohfaserärmeren Nahrung (SKP cv und ov), aber auch kürzer als die MRT bei *T. s. elegans*, hier unabhängig von der Fütterungsart. Demgegenüber war die MRT von *T. s. elegans* bei rohfaserarmem Futter (SKP cv) länger als bei allen anderen WSK, auch hier unabhängig von der Futterart (Abbildung 12). Mögliche Gründe hierfür werden im Kap. V.9.3 diskutiert. Bei *T. h. boettgeri* wurden deutlich längere PZ als bei den WSK gemessen. Dies steht in Einklang mit allgemeinen Angaben für herbivore im Vergleich mit carnivoren oder omnivoren Reptilienarten (KARASOV et al., 1986; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989).

In der wissenschaftlichen Literatur liegen aus zwei Studien Angaben für PZ bei *T. s. scripta* vor, also für die zweite Unterart von *T. scripta* neben der in der vorliegenden Studie verwendeten *T. s. elegans*. Da es sich hier also um nah verwandte Unterarten handelt, sollten im Vergleich je nach Studiendurchführung ähnliche PZ erwartet werden: PARMENTER (1981) ermittelte eine Transitzeit von knapp 3 Tagen und BJORN DAL (1991) eine von 3 bis 3,5 Tagen. Beide Angaben liegen somit etwas über der hier ermittelten t_{\min} von 2 Tagen. Im Vergleich zu PARMENTER könnte die Ursache in der unterschiedlichen Fütterung liegen. Dies wird ausführlicher in Kap. V.9.3 erörtert. Bei BJORN DALs Studie wurde zur Ermittlung der PZ ein kleines Plastikstückchen als Marker verwendet. Da es sich nur um ein einziges Partikel handelte, ist in dieser Studie die t_{\min} nicht von der MRT oder der t_{\max} zu unterscheiden. Die so bei *T. s. scripta* ermittelte PZ liegt im Bereich der in der vorliegenden Studie von *T. s. elegans* ermittelten Spanne der Mediane zwischen t_{\min} und t_{\max} von 2 bis 6 Tagen (Tabelle 7). Eine in einer anderen vergleichbaren Studie ermittelte deutlich schnellere MRT von 1,5 - 2,5 Tagen bei *Chrysemys picta belli* (GUARD, 1980), könnte durch die höheren Umgebungstemperaturen von 30 °C bedingt sein, bei der die Tiere dort gehalten wurden.

Leider existieren keine Angaben für PZ von *E. orbicularis*. Die einzige beschriebene Transitzeit einer anderen carnivoren Sumpf-SK, *Chelydra serpentina*, wurde mit knapp 1,5 Tagen angegeben (PARMENTER, 1981). Sie liegt somit in einem ähnlichen Bereich wie der hier für die t_{\min} von *E. orbicularis* ermittelte Median von 2 Tagen. Insbesondere da die t_{\min} in der vorliegenden Studie, wie weiter oben bereits erörtert wurde, eher überschätzt ist.

Die PZ von *T. h. boettgeri* (hier im Median 7 (t_{\min}) bis 10 Tage (t_{\max}); Tabelle 7) stimmen mit der von LIESEGANG et al. (2007) ermittelten t_{\min} von 8 und t_{\max} von 12 Tagen relativ gut überein.

Ähnlich wie bei HAILEY (1997) und SADEGHAYOBI et al. (2011) beschrieben, kam es in dieser Studie häufiger vor, dass die Tiere (v. a. die LSK) nicht jeden Tag Kot absetzten. In den Auszählungsvarianten „n Kot“ wurden daher nur diejenigen Tage gezählt, an denen überhaupt Kot abgesetzt wurde („Kottage“). Dadurch sollte nachvollziehbar werden, ob die Passagedauer (v. a. bei SK mit saisonal unterschiedlichen Haltungsbedingungen und daher natürlicher Schwankung in der Verdauung) nicht von Kalendertagen, sondern von einer konstanten Anzahl an Kotportionen abhängt und somit ggf. besser durch die Anzahl an Kotportionen als durch Kalendertage beschrieben wird. Tatsächlich ist die MRT über alle drei Arten ähnlicher, wenn die Kottage betrachtet werden (Tabelle 8). Daher kann sie in zukünftigen Studien als interessantes Maß gerade für Artvergleiche gesehen werden.

3. Intra- und interindividueller Einfluss

Aufgrund der Möglichkeit, Wiederholungsmessungen bei den meisten Tieren durchzuführen, war es auch möglich, intraindividuelle Schwankungen zu erfassen. Außerdem konnte so die individuell bedingte natürliche Variation in den Messergebnissen reduziert werden (MÖSTL u. PALME, 2002). Dabei ist für diese Studie hervorzuheben, dass es zu keiner intraindividuellen Clusterbildung außerhalb des Bereiches zwischen den Medianen einer Art kam. Eine Verzerrung der Daten durch einzelne Individuen war somit sehr unwahrscheinlich. Das Spektrum der PZ-Spanne wurde von nahezu allen Tieren ausgenutzt.

Die t_{\min} und analog auch die MRT zeigten sich innerhalb und zwischen den **WSK** (intra- und interindividuell) deutlich konstanter als bei den LSK. Als mögliche Ursache kommen hier v. a. die weniger stark fluktuierenden Haltungstemperaturen (Kap. V.4.1) und ggf. auch eine gleichmäßigere Futteraufnahme in Frage. Denn im Gegensatz zu den LSK, die ad libitum weiden durften, wurde den WSK eine Futtermenge zugeteilt, die nahezu immer unverzüglich vollständig verzehrt wurde.

Bei den **LSK** war eine größere Variabilität zwischen den Tieren (interindividuell) als bei den WSK zu verzeichnen. Außerdem gab es hier Tiere mit sehr weit

gestreuten Messwerten und andere, deren PZ immer ähnlich lang waren, so dass die intraindividuelle Streuung hier sehr unterschiedlich ausgeprägt war. Die großen interindividuellen Unterschiede bei den LSK sind besonders interessant, da alle LSK zur gleichen Zeit in der Studie waren und somit Einflüsse der Temperatur oder der Saison auf die PZ der verschiedenen Individuen als Ursache für diese Variation weitgehend ausgeschlossen werden konnten. Zudem war die Anzahl der ermittelten Passagen pro Tier annähernd gleich und mit durchschnittlich 5 Passagen pro Tier relativ hoch. Daher kann auch die geringe intraindividuelle Schwankung mancher LSK nicht auf eine geringe Anzahl an ermittelten Passagen beim jeweiligen Tier zurückgeführt werden. Hier ist denkbar, dass einzelne Tiere entweder regelmäßiger Futter aufnahmen, oder dass diese Tiere vielleicht über eine besonders stabile oder angepasste Mikrobiota mit dementsprechend gleichmäßiger Verdauung verfügten. Schon lange besteht die Vermutung, dass einzelne Individuen der herbivoren *Chelonia mydas* aufgrund der individuellen Bevorzugung bestimmter Futterpflanzen auch eine dementsprechend adaptierte Mikrobiota besitzen (BJORNDAL, 1980).

In einigen Studien wurde bereits auf bemerkenswerte individuelle Variationen in der Verdauung und PZ bei verschiedenen Arten von Fischen und Amphibien sowie bei SK und anderen Reptilien hingewiesen (RIDDLE, 1909; WARNER, 1981; MCMASTER u. DOWNS, 2008; SADEGHAYOBI et al., 2011). Genauere Ausführungen wurden dazu allerdings nicht gemacht.

4. Temperatur

4.1. Haltungstemperatur

Auf die Ermittlung der **Körpertemperatur** der Tiere wurde zugunsten der Umgebungstemperatur verzichtet, da die Messung der Oberflächentemperatur der Tiere je nach gemessener Körperstelle stark unterschiedliche Ergebnisse liefert (SADEGHAYOBI et al., 2011). Die Messung der Körperinnentemperatur wäre mit Stress für die Tiere verbunden (CABANAC u. BERNIERI, 2000) und die Körpertemperatur ist allgemein auch von der vorausgegangenen Aktion des Tieres (Sonnenbaden, Baden in der Wasserschale, Schwimmen) abhängig.

Da die **WSK** in Innenräumen mit relativ konstanten Temperaturen gehalten wurden, war die Aufzeichnung einer Momenttemperatur sinnvoller, als die von

Minimal- und Maximaltemperaturen, da die Min-Max-Lufttemperaturen durch kurzzeitige Einflüsse wie z. B. Stoßlüften verfälscht worden wären und die Wassertemperaturen jeweils nur wenig Differenz zwischen Minimum und Maximum aufwiesen. Außerdem hielten sich die WSK die meiste Zeit im Wasser auf, daher lag hier die Verwendung der Wassertemperatur als Bezugsparameter nahe. Diese Beschränkung auf die Wassertemperatur ist außerdem durch die hohe lineare Korrelation zwischen der Moment-Luft- und Moment-Wassertemperatur gerechtfertigt. Die Haltungstemperaturen beider WSK-Arten bewegten sich mit 21,8 – 29,7 °C im für WSK empfohlenen Bereich (CUNNINGHAM u. GILL, 1997; MADER, 2006).

Für die **LSK** war haltungsbedingt die Berücksichtigung der Temperaturextreme am sinnvollsten, da es durch die Haltung im wintergartenähnlichen Vorraum zu stärkeren Schwankungen von der Tages- zur Nachttemperatur kam. Daher wurden hier die täglichen Temperaturextreme der Raumluft erfasst. Durch die täglichen Temperaturschwankungen konnte den LSK eine Nachtabsenkung von durchschnittlich 4,2 °C geboten werden. Die Aufzeichnung einer Momenttemperatur mittags hätte die Temperaturspanne pro Tag hier nicht angemessen wiedergegeben. Zusätzlich wäre die Messung der momentanen Lufttemperatur im Raum durch das transparente Dach je nach Sonneneinstrahlung verändert worden. Bei den *T. h. boettgeri* lagen die Haltungstemperaturen meist im unteren Bereich der Empfehlung von MCARTHUR u. BARROWS, 2004a, obwohl der Juli und August 2013 für deutsche Verhältnisse besonders warm und sonnig ausgefallen war (WETTER ONLINE REDAKTION, 30.07.2013, WETTER ONLINE REDAKTION, 29.08.2013). Im Durchschnitt fanden 15 der 63 Passagen der LSK sogar bei einer Temperatur von unter 20 °C (18,0 bis 19,9 °C) statt. Der niederschlagsreiche und sonnenarme September und Oktober haben sich hier bemerkbar gemacht (WETTER ONLINE REDAKTION, 29.11.2013). Bei Freiland-Haltungen werden für adulte *Testudo spp.* von anderen Autoren für morgens und abends mindestens 15 °C und mittags mindestens 21 °C empfohlen (BOYER u. BOYER, 2006). Die in der vorliegenden Studie erfassten Minimaltemperaturen unterschritten bei keiner Passage den genannten Mindestwert von 15 °C und die angegebenen Mittagstemperaturen wurden nur in 8 Passagen gering unterschritten (um Ø 0,65 °C). Somit entsprechen bei den LSK zwar nicht alle Passagen der empfohlenen Haltungstemperatur, sollten jedoch ein für Deutschland realistisches Bild abgeben. Zudem hatten auch alle LSK tagsüber

die Möglichkeit, sich im Spotbereich ihrer Wärmelampe aufzuwärmen. Ob höhere Temperaturen die PZ anders beeinflussen, müsste in weiteren Studien untersucht werden.

Wie allgemein empfohlen wurde allen SK tagsüber ein **Temperaturgradient** angeboten (Umgebungstemperatur im natürlichen Bereich sowie ein Bereich mit Strahlungswärme (CUNNINGHAM u. GILI, 1997)). Dadurch waren die Tiere tagsüber in der Lage, selbst Thermoregulation zu betreiben. SK schafften sich so normalerweise konstante Körpertemperaturen in ihrem Vorzugsbereich (HUOT-DAUBREMONT et al., 1996). Auch die empfohlene Nachtabsenkung (TVT, 2010) der Temperatur war gegeben: bei den WSK mit durchschnittlich 2,9 °C in geringerem Maß als bei den LSK mit 4,2 °C. Auch diese Werte lagen innerhalb der empfohlenen Bereiche (CUNNINGHAM u. GILI, 1997; MADER, 2006). Aufgrund der hohen Bedeutung einer angepassten Temperaturumgebung mit einer natürlichen Fluktuation bezweifelte SKOCZYLAS (1978) die **Eignung von konstanten Labortemperaturen** für Reptilien zur Gewinnung von physiologischen Daten. Er betonte, dass tägliche und saisonale Schwankungen wie unter natürlichen Bedingungen besonders wünschenswert wären. Ergebnisse aus Studien mit konstanten Temperaturen dürften nur bedingt auf Feldstudien oder natürliche Haltungen übertragen werden.

4.2. Einfluss der Temperatur auf die Passagezeit

Insgesamt zeigte sich bei Betrachtung aller Messwerte bei keiner der Arten ein Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und PZ. Auch im zufälligen Sample wurde lediglich bei den LSK ein leichter negativer Trend festgestellt. Dieser Trend, dass sich die PZ mit zunehmender Umgebungstemperatur verkürzte, spiegelt den beschleunigten Metabolismus von Reptilien bei steigender Temperatur wider und entspricht den Ergebnissen anderer Studien für SK (z. B. ZIMMERMAN u. TRACY, 1989; SPENCER et al., 1998; SADEGHAYOBI et al., 2011).

Dass dieser Trend bei den **WSK** nicht deutlich wurde, kann zweierlei Gründe haben: erstens wurden die Tiere in ihren optimalen Haltungstemperaturbereichen und mit einem Temperaturgradienten gehalten (Kap. II.4.4.1; CUNNINGHAM u. GILI, 1997; MADER, 2006), so dass es ihnen wahrscheinlich möglich war, ihre Vorzugskörpertemperatur annähernd konstant zu erhalten (HUOT-DAUBREMONT et al., 1996) und zweitens könnten hier, wie auch schon von

TROYER (1987) in ihrer Studie vermutet wurde, die Schwankungen der Körpertemperatur zu gering ausgefallen sein für relevante Änderungen der PZ. Für die beiden deutlich erhöhten „Bolus“-MRT Werte von 15,5 und 14,0 Tagen bei *T. s. elegans* war kein Einfluss der Temperatur erkennbar, denn die dazugehörigen Passagen fanden bei sehr unterschiedlichen Temperaturen statt. Jedoch traten in diesen beiden Passagen zwischendrin nur Spuren von braunem Kot auf, die definitionsgemäß bei der „Bolus“-Auszählung ignoriert wurden. Es ist daher wahrscheinlich, dass es hier zu einem Koprophagie-bedingten Fehler kam und diese Passagen tatsächlich schon früher, vor der Ausscheidung der bräunlichen Kotpuren endeten.

Umgekehrt kann vermutet werden, dass der leichte Trend des Temperatureinflusses bei den **LSK** dadurch hervorgerufen wurde, dass sich die kältere Lufttemperatur für die Tiere trotz der Wärmelampen doch in etwas größeren Schwankungen der Körpertemperatur bemerkbar gemacht hat. Da in der vorliegenden Studie bei den herrschenden Temperaturen das volle Spektrum der natürlichen PZ bei *T. h. boettgeri* möglicherweise noch nicht erfasst wurde, sind weitere ergänzende Studien auch bei höheren Umgebungstemperaturen sinnvoll. Auch bei den LSK fanden die „Ausreißer-Passagen“ bei unterschiedlichen Temperaturen statt und lassen sich somit nicht auf die herrschenden Temperaturen alleine zurückführen. Zwei der drei „Ausreißer-Werte“ (MRT 17,5 und 22 Tage) können mit der kalendarischen Lage erklärt werden: es handelte sich jeweils um die letzte Passage zweier SK vor dem Einwintern und möglicherweise hatte bei ihnen schon die Anpassung des Stoffwechsels an die Winterruhe eingesetzt. Diese beiden SK zeigten zumindest schon Verhaltensweisen, die für die Vorbereitung der Winterstarre typisch sind, wie eine reduzierte Futteraufnahme, oder eine reduzierte Bewegungsaktivität. Der dritte Ausreißer in der PZ (MRT von 17,0 Tagen) kann dadurch nicht erklärt werden, denn es handelte sich hier um eine Passage aus der Mitte des Haltungszeitraumes der LSK. Das Tier zeigte während und nach dieser Passage eine gute Futteraufnahme und die durchschnittlichen Lufttemperaturen waren in dieser Passage mit 21,6 °C auch im Mittelfeld. Daher kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um einen PZ-Wert handelt, der lediglich im Rahmen der intraindividuellen Streuung mit seiner extremen Lage auffällt (Kap. IV.2 und V.3).

5. Einfluss der Kalenderwochen (Saison)

In der vorliegenden Studie zeigte sich bei den WSK kein Zusammenhang zwischen der Jahreszeit und der mittleren Passagezeit. Dies war zu erwarten, da sie in Innenräumen und mit einem durch Kunstlicht gesteuerten 12 Stunden Lichttag gehalten wurden, auch wenn die Haltungsbedingungen ansonsten nicht völlig konstant waren. Es scheint höchst unwahrscheinlich, dass durch die Fenster im Raum genügend Umweltreize mit Bezug zur Saisonalität vermittelt wurden, damit Unterschiede erkennbar werden. Bei den LSK *T. h. boettgeri* konnte ein geringer Zusammenhang zwischen PZ und Saison hergestellt werden, was durch die Haltung in einem Raum mit transparentem Dach und unisolierten Außenwänden plausibel ist. Auch das Verhalten mancher SK deutete darauf hin, dass die Tiere den nahenden Spätherbst wahrnahmen wie bereits oben in Kap. V.4.2 erwähnt wurde. Denkbar ist z. B., dass die in der Studie herrschenden Bedingungen und zwar der niederschlagsreiche und sonnenarme September und Oktober (WETTER ONLINE REDAKTION, 29.11.2013), manchen Tieren bereits frühzeitig den nahenden Herbst anzeigte. Dieser (geringe) Zusammenhang ist ein besonders interessantes Ergebnis, denn nach VALENTE et al. (2008) ist selbst bei Haltung im Freien bei SK ein Saisoneinfluss nicht immer erkennbar. Allerdings ist hier zu hinterfragen, ob es überlagernde Effekte z. B. durch die Umgebungstemperatur gegeben hat. Eine Beobachtung über einen noch längeren Zeitraum (idealerweise inklusive Frühling) zur Abgrenzung des Einflusses durch die Haltungstemperatur im Rahmen weiterführender Studien wären daher sinnvoll. So könnten Daten von Passagen bei natürlicherweise auftretenden Temperaturen aus unterschiedlichen Jahreszeiten einander gegenübergestellt werden. Eine Abgrenzung war in der vorliegenden Studie durch die auf Spätsommer und Herbst beschränkte Studienhaltung nicht möglich. Jedoch sind die gewonnenen Daten ein guter Anhaltspunkt für Vergleiche, denn auch freilebende *T. hermanni*, in ihrem natürlichen Habitat (Nordgriechenland), sind von Juli bis Oktober im Durchschnitt nur jeden zweiten Tag aktiv (HAILEY, 1989). Es kam daher bei den Studientieren wahrscheinlich wohl nicht zu saisonal atypischem Verhalten.

6. Körpergewicht

6.1. Gewichtsveränderungen

Fast alle Tiere zeigten Gewichtsveränderungen vom jeweiligen Studienstart bis zum Studienende. Die größte Abnahme zeigte dabei eine *E. orbicularis* mit durchschnittlich 0,08 % des KG pro Tag und die größte Zunahme eine *T. s. elegans* mit durchschnittlich 0,31 % des KG pro Tag. Gewichtsschwankungen bei SK sind bereits aus anderen Studien bekannt (z. B. MCMASTER u. DOWNS, 2008). Den **LSK** dieser Studie stand das Futter immer ad libitum zur Verfügung. Gewichtsabnahmen sind daher wahrscheinlich auf geringere Futteraufnahme oder durch Schwankungen im Kot- bzw. Urinabsatz zurückzuführen. Beides ist hier denkbar. Bei den drei Tieren, die geringe Gewichtsabnahmen zeigten, trat dies v. a. zum Studienende (Winter) auf. Hier wurden auch gleichzeitig seltener Futteraufnahme und Kotabsatz beobachtet. Daher kann in diesen Fällen die Ursache im beginnenden Einwinterungsverhalten vermutet werden.

Da bisher noch keine validierten idealen Wachstumskurven für die einzelnen SK-Arten existieren (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b), Reptilien lebenslang wachsen (KAMPHUES et al., 2014) und Überfütterung ein häufiges Problem darstellt (MCARTHUR u. BARROWS, 2004a), wurde die Futtermenge der **WSK** rationiert gefüttert und auf geringstmögliche Zunahmen ausgelegt. Dies gelang meist gut, denn nur 4 der 21 WSK zeigten geringe Abnahmen im KG. Bei diesen 4 Tieren war möglicherweise die Teilnahmedauer in der Studie zu kurz (10 – 19 Tage, jeweils 1 bis 2 Passagen), um die optimale individuelle Futtermenge zu ermitteln. Jedoch besaßen alle gemessenen Gewichtsabnahmen keine biologische Relevanz, gerade auch in Anbetracht von potentiellen Gewichtsschwankungen von 20 - 30 % allein durch Wasserspeicherung im Magen oder Entleerung von Blaseninhalt (MEIENBERGER et al., 1993; BONIN et al., 2007; KÖLLE, 2009) und einer beobachteten Gewichtsveränderung von meist 3 bis 5 % des KG innerhalb einer Woche. Vergleichbare Gewichtsveränderungen wurden auch in anderen Studien als gering oder nicht signifikant eingestuft (BARBOZA, 1995a; MEIENBERGER et al., 1993). In Metabolismusstudien wird das Kriterium „Gewichtskonstanz“ als eine KG-Schwankung von unter 1 % pro Tag festgelegt (PETERSON et al., 1990).

6.2. Einfluss des Körpergewichtes

Das KG wies sowohl in der Betrachtung aller Passagen (Abbildung 22) als auch im Vergleich der Passagen innerhalb eines Tieres (Sample Regressionen; Anhang Tabelle 15) und in linearen Regressionen, die getrennt für beide Altersgruppen durchgeführt wurden (Anhang Tabelle 16), für die untersuchte Stichprobe keinerlei Zusammenhang mit der PZ auf. Dies untermauert die Ausführung unter V.6.1, dass Gewichtsveränderungen in der vorliegenden Größenordnung nicht relevant sind. Diese Studie bestätigt somit auch die Ergebnisse anderer Autoren (BJORNDAL, 1987, BJORNDAL, 1989; BJORNDAL u. BOLTON, 1992; MEIENBERGER et al., 1993; VALENTE et al., 2008). Ob ein Einfluss des KG auf die PZ nur bei sehr großen Arten oder bei Einbeziehung von Schlüpflingen in die Studie registriert werden kann, wie von PARMENTER (1981) vermutet wurde, müsste in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden.

7. Einfluss des Geschlechts (Wasserschildkröten)

In der hier präsentierten Studie war kein deutlicher Einfluss des Geschlechts auf die PZ erkennbar. Es zeigten sich je nach Auswertungsmethode keine oder nur sehr kleine Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren. Bei *E. orbicularis* fiel der Effekt je nach Methode sogar gegensätzlich aus. Bei *T. s. elegans* war bei der geringen Differenz von maximal einem Tag (im Median aller Messwerte Abbildung 23) nicht auszuschließen, dass sich ein Effekt zufällig ergeben hat, insbesondere bei Beachtung der Tatsache, dass die Daten insgesamt relativ zu dem geringen Unterschied zwischen den Geschlechtern stark (fast 10fach) streuten. Falls ein Einfluss des Geschlechtes in der Stichprobe tatsächlich vorhanden war, wird er als nicht relevant beurteilt. Dies steht in Einklang mit der Auffassung von BJORNDAL (1989), dass bisher bei SK kein Unterschied zwischen den Geschlechtern in Bezug auf die PZ gefunden werden konnte. Anzumerken ist jedoch, dass in der vorliegenden Studie bei keinem Tier geschlechtsspezifische Verhaltensweisen wie Grabverhalten, Eiablage, Balzverhalten, o.ä. beobachtet wurden. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass ein relevanter Unterschied in der PZ zwischen den Geschlechtern in der Reproduktionsphase zu beobachten ist.

8. Einfluss des Alters

Die Gruppierung der ermittelten PZ getrennt nach Altersgruppen ergab für alle SK-Arten einen leichten Alterseffekt (Abbildung 25). Bei zusätzlicher Betrachtung der Mittelwerte je Individuum (Abbildung 26) stellte sich heraus, dass es sich voraussichtlich um einen artspezifischen Alterseffekt handelte: aus der Stichprobe wurde ersichtlich, dass bei den **WSK** die Jungtiere eine längere MRT hatten als die adulten Tiere. Es handelte sich dabei nicht um einen überlagernden Futtereffekt, denn junge und geschlechtsreife (adulte) SK reagierten auf die verschiedenen Futterarten auf dieselbe Weise (Abbildung 27 und Abbildung 28). Im Vergleich der Mittelwerte je Individuum mit allen Messwerten der beiden Arten (Abbildung 26 und Abbildung 25) war erkennbar, dass auch kein Einzelindividuum für den Alterseffekt verantwortlich sein konnte. Dies ist aufgrund der geringen Anzahl an juvenilen Tieren in der Stichprobe äußerst bemerkenswert. Wenn trotz der kleinen Anzahl an Individuen derselbe Effekt in Bezug auf die altersspezifische Reaktion auf die Futterarten zu beobachten war, so ist es umso wahrscheinlicher, dass es sich hier um einen echten und keinen individuellen oder zufälligen Effekt handelte.

Bei den *T. h. boettgeri* war nur ein leichter Alterseffekt erkennbar, der jedoch je nach Betrachtung aller Messwerte oder der Mittelwerte je Individuum gegensätzlich ausfiel (Abbildung 25 und Abbildung 26). Bei ersterem hatten die Jungtiere eine höhere MRT als die Adulten, bei letzterem zeigten sie eine niedrigere MRT. Daher kann hier nur spekuliert werden, ob es sich um einen echten Alterseffekt handelte, oder ggf. lediglich um individuelle Unterschiede. Es kann hier auch ein indirekter altersspezifischer Futtereffekt nicht ausgeschlossen werden, denn adulte *T. h. boettgeri* ($n = 6$) hatten im Median beim Rfa-angereicherten Futter eine deutlich höhere MRT als juvenile ($n = 2$) (Abbildung 29). Es liegt daher die Vermutung nahe, dass bei den Adulten das Zellulosepulver im Futter Wirkung zeigte, während dies bei den jungen Tieren eventuell aufgrund einer anderen zellulolytischen Mikrobiota noch nicht der Fall war. Bei den juvenilen Tieren in der Stichprobe war nämlich kein Unterschied zwischen Futter mit oder ohne zusätzliche Zellulose erkennbar. Ein überlagernder Temperatur- oder Saisoneffekt kommt hier wohl eher nicht als mögliche Ursache für die beobachteten Unterschiede zwischen den Altersgruppen in Frage, denn bei den LSK starteten alle Passagen mit der Zellulosefaser im Futter zu einer ähnlichen

Jahreszeit (im Oktober 2012).

Der relativ deutliche Unterschied in den Medianen zwischen den Altersgruppen spiegelte sich interessanterweise nicht in einem **Zusammenhang von KG und PZ** wider. Selbst bei getrennter Untersuchung existierte zwischen juvenilen und adulten SK nicht einmal ein Trend eines Zusammenhangs zwischen KG und MRT (Anhang Tabelle 16). Die Wachstumsgeschwindigkeit hängt bei SK sehr stark von diversen Umweltfaktoren wie z. B. Eiweißgehalt der Nahrung (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b), Futtermenge, Haltungstemperaturen oder Dauer der Winterruhe (KÖLLE, 2009) ab. Die vorliegenden Ergebnisse lassen daher darauf schließen, dass das KG und dementsprechend auch die von manchen Autoren (z. B. VALENTE et al., 2008) verwendete Panzerlänge diesbezüglich kein adäquater Parameter zur Einteilung in Altersgruppen sein könnte.

Die hier vorgenommene Einteilung der Altersgruppen nach äußerlich erkennbaren Geschlechtsmerkmalen scheint somit treffender die unterschiedliche Verdauungsphysiologie von jungen und adulten Tieren widerzuspiegeln. Im Rahmen der Geschlechtsbestimmung zu Beginn der Studie konnte KÖLLE (2009) zudem bestätigt werden, dass „juvenile“ Tiere – also ohne eindeutig erkennbare äußere Geschlechtsmerkmale – eine sehr ähnliche Größe (und dementsprechend auch ein ähnliches Gewicht) haben konnten wie adulte Tiere. So wog z. B. bei *T. s. elegans* das Tier 3, das als juvenil eingestuft wurde, zu Beginn 174 g und das Tier 7 derselben Art, das als männlich erkennbar war, besaß ein Startgewicht von 159 g. Ggf. liegt in dieser unterschiedlichen Art der Eingruppierung in Altersstufen die Ursache für die Diskrepanz der Ergebnisse, also warum in den meisten anderen Studien bisher noch kein Alterseffekt feststellbar war (VALENTE et al., 2008). Die hier durchgeführte Alterseinteilung bietet somit eine lohnenswerte Perspektive für weiterführende Studien.

Zuletzt stellte sich die Frage nach der biologischen Bedeutung des Ergebnisses der vorliegenden Studie, dass Jungtiere der WSK eine langsamere und nicht eine wie von WARNER (1981) und TROYER (1984a) vermutete schnellere MRT aufwiesen. Es könnte sein, dass Jungtiere wegen des für das Wachstum erhöhten Energiebedarfs (STAHL u. DONOGHUE, 2002) bei restriktiver Fütterung die PZ erhöhen, um ihre Verdauungseffizienz zu steigern und somit das vorhandene Futter besser auszunutzen. Eine erhöhte Koprophagierate als Ursache ist hier eher unwahrscheinlich, denn nur einer der fünf beobachteten Koprophagiefälle stammte von einem juvenilen Tier.

9. Fütterung

9.1. Fütterungsregime und Futtermenge

Bevor der Einfluss der Fütterung auf die Passagezeit diskutiert wird, soll zuerst kurz auf die Fütterungsfrequenz und Futtermenge eingegangen werden. Manche Autoren empfehlen juvenile Wasser- und Sumpf-SK täglich zu füttern, also so, wie es bei den LSK normalerweise geraten wird (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b; KÖLLE, 2012), auch wenn für adulte WSK eine Fütterung ein- bis dreimal pro Woche ausreichend ist (BOYER u. BOYER, 2006). In der vorliegenden Studie erfolgte die Fütterung aller WSK unabhängig vom Alter zur besseren Vergleichbarkeit der Daten jeden 2. Tag. Dadurch konnten für ältere Tiere allgemein empfohlene Fastentage eingehalten werden und für die jüngeren war die Pause zwischen den Fütterungen nicht zu groß. Zudem nahmen weder sehr große (alte) Tiere, noch Schlüpflinge an der Studie teil.

In Bezug auf die Futtermenge war es anfangs geplant und wurde in einer Vorstudie getestet, bei den WSK einen bestimmten konstanten Anteil an SKP (3,5 % $KM^{0,75}$) zu füttern, um in diesem Punkt keine Varianz zwischen den Tieren zu schaffen. Dieses Vorgehen wurde jedoch nach Abschluss der Vorstudie verworfen, da sich gezeigt hatte, dass bei derselben Futtermenge pro KM einige Tiere abnahmen, während andere an Gewicht zulegten. Eine ähnliche Beobachtung wurde in der Vergangenheit auch schon für *T. s. scripta* (ohne Angabe von möglichen Gründen) beschrieben (BJORNDAL, 1991). Innerhalb derselben **Futterart** unterschied sich die benötigte Futtermenge eines Tieres in der vorliegenden Studie ebenfalls von Passage zu Passage. Bei *E. orbicularis* war hier allerdings ein geringer linearer Zusammenhang zwischen Futtermenge und Futterart und bei *T. s. elegans* zumindest ein Trend erkennbar (Tabelle 10). Erklärt werden könnte dieser Zusammenhang durch eine unterschiedliche Verdaulichkeit der verschiedenen Futterarten. Aufgrund der höheren Verdaulichkeit von fleischreichem Futter (KAMPHUES et al., 2014) ist hier eine niedrigere benötigte Futtermenge plausibel.

Außerdem könnte die Ursache für die Varianz im Futterbedarf bei den einzelnen Passagen in den unterschiedlichen **Umgebungstemperaturen** liegen, da die Futteraufnahme von Reptilien normalerweise mit der Körpertemperatur steigt (AVERY et al., 1993; DENNERT, 2008). Tatsächlich konnte bei *E. orbicularis* ein leichter, jedoch gegenteiliger Zusammenhang zwischen aufgenommener

Futtermenge und Wassertemperatur gezeigt werden (Tabelle 10 und Kap. IV.8.1). Dass hier ein gegenteiliger Effekt sichtbar war, könnte daran liegen, dass die Tiere nicht ad libitum gefüttert wurden, also bei höheren Temperaturen die Futterraufnahme nicht erhöhen konnten oder, dass niedrigere Umgebungstemperaturen durch vermehrtes „Sonnenbaden“ ausgeglichen wurden, so dass es hier zu einer stärkeren Abweichung aus Umgebungs- und Körpertemperatur kam. Der errechnete Zusammenhang von Futtermenge und Temperatur stellte allerdings (passend zum niedrigen linearen Zusammenhang von $b = -0,39$; Tabelle 10) wahrscheinlich keinen großen Effekt dar, denn dann wäre zusätzlich ein Effekt der Temperatur auf die PZ zu erwarten gewesen (SPENCER et al., 1998), der sich hier jedoch nicht gezeigt hat (Kap. V.4.2). Denkbar wäre jedoch auch, dass die Umgebungstemperatur zwar keinen Einfluss auf die PZ hatte, dass durch kältere Temperaturen aber möglicherweise trotzdem die Resorption oder Verdauungseffizienz verringert war, so dass die benötigte Futtermenge bei niedrigeren Temperaturen höher war, um Gewichtsabnahmen zu vermeiden.

Dennoch hatte die Futtermenge bei *E. orbicularis* einen Effekt auf die **MRT** (Tabelle 10): die MRT war bei erhöhter Futtermenge tendenziell länger. Dies steht zunächst im Gegensatz zur vorherrschenden Meinung in der Literatur (BARBOZA, 1995a; MEIENBERGER et al., 1993; VAN SOEST, 1994; EHRLEIN, 2005; MCMASTER u. DOWNS, 2008; DENNERT, 2008). Jedoch zeigte sich bei genauer Betrachtung, dass dieser Zusammenhang durch die verschiedenen Altersgruppen verursacht sein könnte (Tabelle 11). Gerade bei *E. orbicularis*, bei denen der Zusammenhang zwischen Futtermenge und MRT deutlich hervortrat, lag die Futtermenge bei den jüngeren Tieren deutlich über der bei den adulten, was aufgrund des stärkeren Wachstums der jüngeren Tiere auch nachvollziehbar ist. Zugleich war (wie in Kap. V.8 erörtert) die MRT bei den Jungtieren der WSK-Arten deutlich erhöht. Somit macht die erhöhte Futtermenge bei den Jungtieren die erhöhte MRT und den Effekt der Futtermenge auf die MRT nachvollziehbar.

Eine offene Frage bleibt allerdings, warum die beschriebenen Effekte nicht gleichermaßen bei *T. s. elegans* beobachtet wurden. Hier könnte tatsächlich ein Artunterschied zugrunde liegen. Außerdem ist aber auch denkbar, dass bei *T. s. elegans* in der Gruppe der als juvenil eingestuften Tiere der Anteil an Halbwüchsigen (Subadulten), deren Geschlecht aber noch nicht erkennbar war,

höher war. Weiterführende Studien mit einer engmaschigeren Gruppeneinteilung (z. B. in Schlüpflinge, juvenile, subadulte und adulte Tiere) könnten hier Aufschluss bieten.

Die gefütterte Menge an SKP lag in der vorliegenden Studie in einem ähnlichen Bereich wie es für *Chelonia mydas* bei 25 °C und drei verschiedenen Arten Fischfutterpellets beschrieben wurde (0,5 oder 1 % KG alle 48 Stunden) (HADJICHRISTOPHOROU u. GROVE, 1983).

9.2. Futterart

Aufgrund von synergistischen Futtereffekten (BJORNDAL, 1991 für *T. s. scripta*) ist die Fütterung von Einzelfuttermitteln bezüglich der Verdauungsfunktionen nicht immer vergleichbar (MEIENBERGER et al., 1993). Die ausschließliche Fütterung mit Einzelfuttermitteln könnte somit Studienergebnisse beeinflussen und birgt außerdem das Risiko, für die Tiere nicht ausgewogen zu sein. Daher ist **SKP** für Studien mit WSK gut geeignet, denn er enthält mehrere Einzelfuttermittel gemischt und zu konstanten Anteilen. Das Originalrezept des in der Studie verwendeten SKP (KÖLLE, 2009) musste in Bezug auf das verwendete Mineralfutter leicht abgewandelt werden, da das ursprünglich genannte „Vitakalk“ nicht mehr auf dem Markt verfügbar ist. Es wurde durch ein anderes „all-round“-Vitamin - Mineralstoffgemisch mit ähnlicher Zusammensetzung (Futtermedicus „Vitamin – Optimix cooking“) ersetzt, so dass weiterhin von der Deckung des Ernährungsbedarfes ausgegangen wird. Aufgrund der bislang fehlenden konkreten Bedarfszahlen für Sumpf- und LSK ist eine exakte Berechnung des Nährstoffbedarfes jedoch nicht möglich. Im Allgemeinen wird eine Supplementierung bei adulten SK jedoch nicht als zwingend notwendig angesehen und es werden bei Bedarfsangaben pauschal „all-round-Supplemente“ empfohlen (MCARTHUR u. BARROWS, 2004b).

Eine Standardisierung des Futters der **LSK** war im Rahmen des Studiendesigns nicht möglich und auch nicht beabsichtigt. Die Wildkräutermischung für *T. h. boettgeri* hatte eine variable Zusammensetzung. Ein saisonaler Einfluss, der vergleichbar im natürlichen Habitat der Tiere vorkommt und somit als physiologisch anzusehen ist, war nicht vermeidbar. So nimmt beispielsweise der Eiweiß- und Kalziumgehalt im Futter im Laufe des Jahres ab und der Rohfasergehalt zu (KÖLLE, 2009). Das Futterangebot in der Studie sollte jedoch „normale“ Haltungsbedingungen von Griechischen LSK in Deutschland

widerspiegeln und somit möglichst realistisch sein. Gewisse Tagesunterschiede in der individuellen Zuteilung der nicht zerkleinerten Blätter der Wildkräutermischung an die einzelnen LSK verhinderten voraussichtlich eine exakte Quantifizierung der Futteraufnahme, jedoch haben sie die PZ wahrscheinlich nicht stark beeinflusst, da jeden Tag neues frisch gesammeltes Futter zugeteilt wurde und die Passagen über mehrere Tage (bis Wochen) gingen. Die Blätter wurden nicht zerkleinert, um die Futterpartikelgröße, die bei Reptilien durch den fehlenden Kauvorgang einen größeren Einfluss auf die Verdauung und die Kotpartikelgröße ausübt als z. B. bei Säugetieren (FRITZ et al., 2010), nicht künstlich zu verändern. Bekanntermaßen ist die Partikelgröße des Futters ein Einflussfaktor auf die PZ (z. B. BARBOZA, 1995a, Kap. II.4.4.3).

Der Einfluss der Futterpflanzen auf die PZ konnte bei den LSK somit nicht vollständig von einem saisonalen Einfluss, insbesondere der Tageslichtlänge und der Umgebungstemperatur abgegrenzt werden. Es wäre interessant, die drei Einflussgrößen Futterzusammensetzung, Lichtlänge und Umgebungstemperatur in weiteren Studien getrennt voneinander zu betrachten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können dabei als Basis verwendet werden, denn sie zeigen eine breite Spanne der PZ bei *T. h. boettgeri* unter gängigen Haltungsbedingungen auf.

Eine Dosierung von Zellulosepulver entsprechend den Literaturangaben für Säugetier-Kleintiere in Bezug zum KG (0,5 – 2 g/ kg KG (DILLITZER, 2012c, DILLITZER, 2012a)) ist für SK nicht praktikabel, da LSK tagsüber „weiden“ und das Zellulosepulver an Einzelfuttermitteln für WSK (z. B. Larven, Schnecken, Fisch, o.Ä.) nicht gut haften bleibt. Daher wurde es für die vorliegende Studie als ca. 10 % der TS dem Futter beigemischt. Die Aufnahme an Zellulose pro Tier bzw. kg KG konnte somit nur für die WSK berechnet werden. Beide WSK-Arten nahmen im Durchschnitt jeden 2. Tag 1,3 % des KG an SKP auf. Dies entspricht beim SKP „Rfa“ umgerechnet ca. 0,33 g Zellulose/ kg KG alle 2 Tage (bzw. 0,16 g / kg KG / d) und liegt somit bei rund einem Zehntel der therapeutischen Dosis von Hund und Katze. In Anbetracht des auf ca. 10 % reduzierten Energiebedarfes mit dementsprechend deutlich niedrigerer Futteraufnahme bei Reptilien im Vergleich zu Säugetieren (Kap. II.3) scheint diese Dosierung geeignet zu sein. Die Zellulose zeigte bei zwei der drei SK-Arten eine Wirkung und zwar derart, dass die MRT bei diesen Passagen sowohl bei *T. h. boettgeri*, als auch bei *E. orbicularis* verändert war (Kap. V.9.3). Für diese Arten scheint somit ggf. für

die Untersuchung eines Einflusses schon die hier verwendete geringe Zellulose-Dosis ausreichend, für *E. orbicularis* unter Umständen sogar schon zu hoch (Kap. V.9.3) zu sein, während sie für *T. s. elegans* zur Abklärung von Effekten in Bezug auf die PZ noch gesteigert werden müsste.

9.3. Einfluss der Futterart

In der vorliegenden Studie wurde bei den einzelnen SK-Arten ein z. T. deutlicher Einfluss der einzelnen Futterarten auf die Passagedauer nachgewiesen.

Bei *T. s. elegans*, die als omnivore SK-Art mit deutlicher Präferenz für Fleischnahrung gilt (CLARK u. GIBBONS, 1969; PÉREZ-SANTIGOSA et al., 2011), waren die Passagen mit fleischbetonter, rohfaserarmer Fütterung (SKP cv) mit einer verzögerten Transitzeit (t_{\min}) im Median deutlich langsamer als alle anderen Passagen der WSK. Da eine ähnliche Beobachtung bei *E. orbicularis* nicht gemacht wurde, liegt hier wahrscheinlich ein artspezifischer Futtereffekt vor. Mögliche Ursachen für die Verzögerung könnten in einer kleineren Futtermenge oder in einer gehäuften Koprophagierate bei der rohfaserarmer Fütterung liegen. Beides wurde in dieser Studie nicht beobachtet: die Futtermenge spielte für die Futterart und die MRT bei *T. s. elegans* nahezu keine Rolle (Kap. V.9.1) und die beobachteten Koprophagiefälle verteilten sich gleichmäßig auf die verschiedenen Futterarten. Ferner ist denkbar, dass die omnivoren *T. s. elegans*, die eine Präferenz für tierisches Futter aufweisen (PARMENTER u. AVERY, 1990; PRÉVOT-JULLIARD et al., 2007), dieses effizienter verdauen können (wie von SPENCER et al. (1998) für omnivore *E. macquarii* und von ZIMMERMAN u. TRACY (1989) für Echsen beschrieben) und dass es somit eine längere Zeit dauert, bis sich genügend Kot für eine Kotportion angesammelt hat. Dafür würde auch sprechen, dass die Transitzeit bei *T. s. elegans* bei allen Futterarten im Median bei einem Tag und einem „Kottag“ lag, nur bei den Passagen mit dem SKP cv waren dafür im Median 3 Kalendertage und 2 Kottage nötig, was einen durchschnittlich selteneren Kotabsatz bedeutet. Diese verzögerte Transitzeit bei der fleischreichsten Fütterung (SKP cv) steht allerdings im Gegensatz zur gängigen Meinung in der Literatur, dass Carnivore grundsätzlich schneller verdauen als Omnivore oder gar Herbivore (KARASOV et al., 1986; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989). Allerdings existiert eine Reihe von wissenschaftlichen Publikationen, die ebenfalls nicht diese verbreitete Ansicht stützt. So beobachteten DAVENPORT et al. (1992) bei der carnivoren *Batagur*

baska längere PZ als es für omnivore *Trachemys* oder *Mauremys* in der Literatur beschrieben wurde. In einer Studie von GUARD (1980) war die PZ eines omnivoren Reptils (bei 30 °C Umgebungstemperatur) am kürzesten, gefolgt von einem carnivoren (ebenfalls 30 °C) und dann von herbivoren Reptilien (Temperaturgradient von 20 - 55°C). Interessanterweise liegen die von PARMENTER (1981) für die nah verwandte *T. s. scripta* beschriebenen PZ mit 61 anstatt 48 Stunden sogar noch deutlich über den hier für *T. s. elegans* ermittelten PZ. Dies könnte durch die reine Hackfleischfütterung der *T. s. scripta* erklärt werden und legt die Vermutung nahe, dass der hier beobachtete Effekt der verzögerten t_{\min} -Zeiten bei rohfaserarmer Fütterung (SKP cv) durch Erhöhung des Fleischanteiles noch gesteigert werden kann. Ferner wurde beobachtet, dass die PZ bei *T. s. elegans* bei der sehr rohfaserreichen Fütterung von SKP Rfa genau im gleichen Bereich wie die bei der Fütterung mit nur leicht rohfasereichertem SKP ov lagen. Als opportunistische omnivore SK-Art scheint die Verdauung von *T. s. elegans* nicht durch den sehr hohen Rfa-Gehalt von SKP Rfa beeinträchtigt zu sein. Dies verdeutlicht das hohe Maß an Flexibilität in der Verdauung bei dieser Art, wie sie bereits für andere SK-Arten beschrieben wurde (BARBOZA, 1995a; BJORNDAL, 1989).

Als fleischbetonte Allesfresser (BONIN et al., 2007) bekamen die *E. orbicularis* v. a. SKP cv zu fressen, den sie annähernd gleich schnell wie den SKP ov, aber langsamer als den SKP Rfa prozessierten. Die Passagen mit dem SKP Rfa waren also leicht beschleunigt. Dieser Effekt könnte dadurch erklärt werden, dass der deutlich erhöhte Rohfasergehalt des SKP Rfa für diese SK-Art zu hoch ist, denn es ist bekannt, dass es bei individuell überhöhtem Zellulosegehalt zu osmotischer Diarrhoe kommen kann (DILLITZER, 2012a). Vom Allgemeinbefinden zeigte sich jedoch keines der Tiere beeinträchtigt. Zu beachten ist hier allerdings die relativ kleine Zahl an Passagen mit Rohfaser-angereichertem Futter (8 Passagen bei 3 Tieren), so dass dieses Ergebnis durch weitere Studien überprüft werden sollte. Es ist auch denkbar, dass ein vergleichbarer Rohfasergehalt, jedoch mit längerer Faserstruktur (z. B. durch das Verfüttern großer Pflanzenteile), die PZ durch die Bildung eines Fasergitters im Verdauungstrakt (Kap. II.2.2) verlängern würde. Die Tatsache, dass der SKP ov im Median geringfügig langsamer verdaut wurde als der SKP cv, steht in Einklang mit anderen Angaben aus der Literatur (KARASOV et al., 1986; ZIMMERMAN u. TRACY, 1989).

Die herbivoren LSK *T. h. boettgeri* wiesen zwar eine ebenso große Verteilung der

MRT-Werte bei den Passagen mit wie ohne Zellulose in der Wildkräuterfütterung auf, jedoch lag die MRT im Median sowohl bei Betrachtung aller Messwerte als auch bei Betrachtung der Mittelwerte je Individuum bei der Fütterung mit Zellulosezusatz deutlich höher als bei der reinen Wildkräuterration. Die verlängerte PZ bei erhöhtem Rohfasergehalt bestätigte hier die gängigen Literaturangaben und lässt ebenfalls eine effektivere Fermentation durch längere Verdauungszeiten vermuten (BARBOZA, 1995a). Zur sichereren Abgrenzung des Effektes der Rohfaser von anderen möglichen Einflussfaktoren wären allerdings höhere Fallzahlen wünschenswert.

10. Schlussfolgerungen

Obwohl das Studiendesign der vorliegenden Studie primär auf die Grundlagenforschung ausgerichtet war, sind die gewonnenen Ergebnisse für einen Tierarzt oder eine Tierärztin dennoch auch von klinischer Relevanz.

Zunächst können die ermittelten PZ wertvoll sein bei der Planung wissenschaftlicher Studien z. B. zur Ermittlung von Nährstoffbedarfszahlen oder zur Bestimmung der Verdaulichkeit bei *T. s. elegans*, *E. orbicularis* oder *T. h. boettgeri*. Aber auch für den praktischen Tierarzt und die praktische Tierärztin bietet die Studie wichtige Erkenntnisse z. B. in Bezug auf die mögliche Dauer einer Fremdkörperpassage oder die Untersuchungsintervalle beim Kontrastmittelröntgen. Hier sollten insbesondere die Unterschiede zwischen den Arten beachtet werden. Je nach klinischem Allgemeinbefinden eines erkrankten Tieres sollte außerdem die hohe individuelle Varianz in der PZ bei allen drei Arten vor einer eventuellen Anwendung invasiverer Maßnahmen berücksichtigt werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Magen-Darm-Passagezeiten werden als gängige physiologische Verdauungsparameter zur Klärung vor allem von diversen ernährungsphysiologischen Fragen bestimmt. Bisher existieren jedoch keine diesbezüglichen Angaben für *E. orbicularis* und nur sehr wenige für *T. scripta* und *T. hermanni*. Ziel dieser Studie war es daher die physiologische Magen-Darm-Passagezeit dieser drei Schildkrötenarten, z. T. präzisiert auf deren Unterarten (*T. s. elegans* und *T. h. boettgeri*), im Rahmen einer möglichst artgerechten Haltung und Fütterung zu bestimmen und mögliche Einflussfaktoren einzugrenzen.

Zwischen dem 25. 11. 2012 und dem 02. 12. 2013 wurden 280 Magen-Darm-Passagen von insgesamt 34 klinisch gesunden Schildkröten unter Verwendung des Markers Chromoxidgrün bestimmt. Ermittelt wurde hierfür jeweils die Transitzeit „ t_{\min} “, die maximale Ausscheidungsdauer des Markers „ t_{\max} “ und der daraus errechnete Durchschnitt „MRT“. Täglich wurde semiquantitativ der Kotabsatz sowie die Umgebungsluft- bzw. Wassertemperatur dokumentiert. Die Fütterung wurde so gestaltet, dass den Landschildkröten Wildkräuter ad libitum zur Verfügung standen und die Wasserschildkröten jeden zweiten Tag restriktiv mit Schildkrötenpudding gefüttert wurden. Zusätzlich kam Futter mit erhöhtem Kräuter- bzw. Zellulosefasergehalt zum Einsatz. Bei den Wasserschildkröten orientierte sich die individuelle Futtermenge an einer geringstmöglichen Gewichtszunahme der Tiere und die zugeteilte Futtermenge wurde notiert. Wöchentlich wurde das Körpergewicht der Tiere und gelegentlich der Ernährungszustand bestimmt. Alle Passagen wurden zudem den Kalenderwochen zugeordnet.

Im Allgemeinen ließ sich erkennen, dass die Landschildkröten deutlich längere Passagezeiten als die Wasserschildkröten hatten. Die t_{\min} der *T. h. boettgeri* lag im Median bei 7 Tagen, während diese für beide Wasserschildkrötenarten 2 Tage betrug. Auch die t_{\max} der Wasserschildkröten war im Median sehr ähnlich (6 Tage bei *T. s. elegans* und 5,5 Tage bei *E. orbicularis*) im Vergleich zu 10 Tagen bei *T. h. boettgeri*. Daraus ergab sich eine MRT von jeweils 4 Tagen für die Wasserschildkröten und 7,5 Tagen für *T. h. boettgeri*. Zu beachten ist allerdings eine bemerkenswerte intra- und interindividuelle Streuung, welche bei den

Landschildkröten besonders ausgeprägt war.

Zusätzlich wurden mögliche Zusammenhänge von Temperatur, Kalenderwoche, Signalementdaten und Fütterung mit der MRT der jeweiligen Arten untersucht. Dabei ergab sich nur bei den Landschildkröten ein sehr leichter negativer Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur bzw. Kalenderwoche und der MRT, was mit dem beschleunigten Metabolismus von Reptilien bei zunehmender Temperatur in Einklang gebracht werden kann. Körpergewicht und Geschlecht hatten keinen relevanten Effekt auf die MRT.

Es bestanden Unterschiede in der MRT zwischen den beiden differenzierten Altersgruppen juvenil und adult, die allerdings artspezifisch verschieden ausgeprägt waren. Bei *T. s. elegans* und *E. orbicularis* war die MRT der juvenilen Tiere im Median deutlich länger als die der Adulten. Dies konnte auch nicht durch einen überlagernden Futtereffekt erklärt werden und ist wahrscheinlich auf einen Arteffekt zurückzuführen. Bei den Landschildkröten zeigte sich zwar insgesamt kein eindeutiger Alterseffekt, jedoch hatten adulte *T. h. boettgeri* bei der zelluloseangereicherten Fütterung im Median eine längere MRT als juvenile, so dass hier nicht ausgeschlossen werden kann, dass dieser Unterschied in den Altersgruppen ein von der Futterart überlagerter Effekt war.

Bei den Wasserschildkröten zeigten die Ergebnisse nur bei *E. orbicularis* und nicht bei *T. s. elegans* einen geringen Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen Futtermenge und Futterart sowie der Wassertemperatur und der MRT. Außerdem bestanden bei allen Arten zum Teil deutliche Unterschiede zwischen der Länge der Passagen nach Gabe der unterschiedlichen Futterarten.

Die gewonnenen Erkenntnisse können im Rahmen der klinischen Untersuchung als Grundlage für eine Beurteilung von krankheitsbedingten Veränderungen der Magen-Darm-Passagezeit und für einen Vergleich von Röntgenkontrast-passagezeiten dienen. Zudem stellen sie eine Basis für die Planung von Studien bezüglich Verdaulichkeit, Nährstoffversorgung oder Medikamentendosierungen und für die Entwicklung von geeigneten Fütterungsschemata für die genannten Arten dar.

VII. SUMMARY

Gastrointestinal passage time of chelonians (*Trachemys scripta elegans*, *Emys orbicularis* and *Testudo hermanni boettgeri*)

Gastrointestinal passage times have been widely used as physiological parameters for digestion to especially answer various nutritional or physiological questions. So far, no such data exists for *E. orbicularis* and only little is known about passage times of *T. scripta* and *T. hermanni*. Therefore, the aims of this study were to determine physiological passage times of the above mentioned chelonian species (or more precisely the species *E. orbicularis* and the subspecies *T. s. elegans* and *T. h. boettgeri*) considering species-appropriate keeping and feeding and to discuss possible influencing parameters.

From 25th of November 2012 to 2(nd) of December 2013 280 passage times of a total of 34 clinically healthy chelonians have been examined by administering the marker chromic oxide. The determined variables were transit time “ t_{\min} ”, time to latest marker excretion “ t_{\max} ” and their calculated mean “MRT”. Defecation has been documented semiquantitatively on a daily basis as well as air or water temperature. Tortoises have been offered wild herbs ad libitum every day and a mixture of ingredients bound by gelatine has been fed restrictively every second day to the turtles. Alternatively, food with higher herbal or cellulose content has been fed in some passages. For the two turtle species the individually offered amount of food has been calculated weekly to achieve the least possible weight gain and the provided quantity of food was recorded as well. Body weight has been examined weekly complemented by an occasional check of nutritional body condition. All data has been scaled to weeks.

In general passage times of the tortoises were much longer than passage times of the turtles. The median t_{\min} was 7 days for the tortoises but 2 days for both turtle species. Also, the median t_{\max} of the turtles was similar (6 days for *T. s. elegans* and 5.5 days for *E. orbicularis*) in comparison to 10 days for *T. h. boettgeri*. The resulting MRT was 4 days for the turtles and 7.5 days for *T. h. boettgeri*. It must be pointed out that there was a considerable variance within and between individuals, especially regarding the tortoises.

Additionally, the possible influence of temperature, week, body weight, sex, age

and feeding to the MRT has been investigated. Regarding the tortoises only, a very low negative correlation between air temperature respectively season (week) and MRT was found. This can be explained by the reptile metabolism which accelerates with temperature. Body mass and sex did not have any relevant influence on MRT.

There was a typical difference in MRT between the groups of juvenile and adult chelonian. The median MRT of juvenile *T. s. elegans* and *E. orbicularis* was considerably longer than those of the adults. This could not be explained by a superimposed feeding effect and is probably a difference in species. Generally, the passage time of the tortoises was not influenced by age, but the median MRT of adults fed with wild herbs including extra cellulose was longer than the corresponding MRT of juvenile *T. h. boettgeri*. Therefore, an overlying feeding effect could not be ruled out here.

The results showed a small correlation between the variables amount or type of food, water temperature and MRT only for *E. orbicularis* but not for *T. s. elegans*. Besides, there were clear differences in passage times depending on different types of food within all three species.

In the context of the clinical examination, the findings of the study can be used as a basis for the evaluation of pathological changes in the gastrointestinal passage time or to compare passage times with radiocontrast substances. They are important prerequisites for planning further studies that evaluate digestibility, nutrient supply, dosing of oral medicine or appropriate feeding schemes for the above-named species.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- AMOROCHO, D.F., REINA, R.D. (2008): Intake passage time, digesta composition and digestibility in East Pacific green turtles (*Chelonia mydas agassizii*) at Gorgona National Park, Colombian Pacific. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 360, 117–124. doi:10.1016/j.jembe.2008.04.009.
- AVERY, H.W., SPOTILA, J.R., CONGDON, J.D., FISCHER, R.U., STANDORA, E.A., AVERY, S.B. (1993): Roles of Diet Protein and Temperature in the Growth and Nutritional Energetics of Juvenile Slider Turtles, *Trachemys scripta*. *Physiological zoology* 66, 902–925. doi:10.1086/physzool.66.6.30163746.
- BARBOZA, P.S. (1995a): Digesta passage and functional anatomy of the digestive tract in the desert tortoise (*Xerobates agassizii*). *Journal of Comparative Physiology B, Biochemical, Systems, and Environmental Physiology*. 165, 193–202.
- BARBOZA, P.S. (1995b): Nutrient balances and maintenance requirements for nitrogen and energy in desert tortoises (*Xerobates agassizii*) consuming forages. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 112, 537–545. doi:10.1016/0300-9629(95)02023-3.
- BAUR, M. (2003): Untersuchungen zur vergleichenden Morphologie des Gastrointestinaltraktes der Schildkröten. 2. Aufl., Ed. Chimaira, Frankfurt am Main.
- BAUR, M. (2008a): Anatomische und physiologische Besonderheiten bei Reptilien. In: BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER (Hrsg.): Reptilienmedizin. Fortbildungsveranstaltungen der Bayerischen Landestierärztekammer - Band 6, Gotteswinter Verlag, München, 15–20.
- BAUR, M. (2008b): Die Erkrankungen der Gastrointestinalorgane. In: BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER (Hrsg.): Reptilienmedizin. Fortbildungsveranstaltungen der Bayerischen Landestierärztekammer - Band 6, Gotteswinter Verlag, München, 154–169.
- BAUR, M. (2008c): Morphologie und funktionelle Morphologie der Gastrointestinal-Organ der Reptilien. In: BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER (Hrsg.): Reptilienmedizin. Fortbildungsveranstaltungen der Bayerischen Landestierärztekammer - Band 6,

- Gotteswinter Verlag, München, 21–26.
- BAUR, M. (2008d): Untersuchungen des Gastrointestinaltraktes von Reptilien. In: BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER (Hrsg.): Reptilienmedizin. Fortbildungsveranstaltungen der Bayerischen Landestierärztekammer - Band 6, Gotteswinter Verlag, München, 144–153.
- BAUR, M., HOFFMANN, R.W. (2000): Die Verdauung bei Landschildkröten unter Berücksichtigung der anatomischen Strukturen. Fachmagazin Schildkröte 2, 17–21.
- BELS, V., BAUSSART, S., DAVENPORT, J., SHORTEN, M., O'RIODAN, R.M., RENOUS, S., DAVENPORT, J.L. (2008): Functional evolution of feeding behavior in turtles. In: WYNEKEN, J., GODFREY, M.H., BELS, V. (Hrsg.): Biology of turtles, CRC Press; Taylor & Francis Group, Boca Raton, New York, Abingdon, 187–212.
- BEYNON, P.H., LAWTON, M.P.C., COOPER, J.E. (Hrsg.) (1997): Kompendium der Reptilienkrankheiten. Haltung-Diagnostik-Therapie, Schlüter, Hannover.
- BIELLI, M., NARDINI, G., DI GIROLAMO, N., SAVARINO, P. (2015): Hematological values for adult eastern Hermann's tortoise (*Testudo hermanni boettgeri*) in semi-natural conditions. Journal of veterinary diagnostic investigation: official publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc 27, 68–73. doi:10.1177/1040638714561251.
- BJORNDAL, K.A. (1979): Cellulose digestion and volatile fatty acid production in the green turtle, *Chelonia mydas*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology 63, 127–133. doi:10.1016/0300-9629(79)90638-8.
- BJORNDAL, K.A. (1980): Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. Marine Biology 56, 147–154. doi:10.1007/BF00397131.
- BJORNDAL, K.A. (1987): Digestive Efficiency in a Temperate Herbivorous Reptile, *Gopherus polyphemus*. Copeia, 714–720. doi:10.2307/1445664.
- BJORNDAL, K.A. (1989): Flexibility of digestive responses in two generalist herbivores, the tortoises *Geochelone carbonaria* and *Geochelone denticulata*. Oecologia 78, 317–321. doi:10.1007/BF00379104.
- BJORNDAL, K.A. (1991): Diet Mixing. Ecology 72, 1234–1241. doi:10.2307/1941097.
- BJORNDAL, K.A., BOLTEN, A.B. (1990): Digestive Processing in a Herbivorous Freshwater Turtle: Consequences of Small-Intestine

- Fermentation. *Physiological zoology* 63, 1232–1247.
- BJORNDAL, K.A., BOLTEN, A.B. (1992): Body Size and Digestive Efficiency in a Herbivorous Freshwater Turtle. *Physiological zoology* 65, 1028–1039. doi:10.1086/physzool.65.5.30158557.
- BJORNDAL, K.A., BOLTEN, A.B. (1993): Digestive Efficiencies in Herbivorous and Omnivorous Freshwater Turtles on Plant Diets. *Physiological zoology* 66, 384–395. doi:10.1086/physzool.66.3.30163699.
- BJORNDAL, K.A., BOLTEN, A.B., MOORE, J.E. (1990): Digestive Fermentation in Herbivores. *Physiological zoology* 63, 710–721. doi:10.1086/physzool.63.4.30158172.
- BONE, R.D. (1997): Verdauungstrakt. In: BEYNON, P.H., LAWTON, M.P.C., COOPER, J.E. (Hrsg.): *Kompendium der Reptilienkrankheiten. Haltung-Diagnostik-Therapie*, Schlüter, Hannover, 109–125.
- BONIN, F., DEVAUX, B., DUPRÉ, A. (2007): *Enzyklopädie der Schildkröten*. 1. Aufl., Ed. Chimaira, Frankfurt, M.
- BOUCHARD, S.S., BJORNDAL, K.A. (2005): Microbial Fermentation in Juvenile and Adult Pond Slider Turtles, *Trachemys scripta*. *Journal of Herpetology* 39, 321–324. doi:10.1670/145-04N.
- BOUCHARD, S.S., BJORNDAL, K.A. (2006): Ontogenetic diet shifts and digestive constraints in the omnivorous freshwater turtle *Trachemys scripta*. *Physiological and biochemical zoology, Ecological and Evolutionary Approaches* 79, 150–158. doi:10.1086/498190.
- BOYER, T.H., BOYER, D.M. (2006): Biology and husbandry. Turtles, Tortoises, and Terrapins. In: MADER, D.R. (Hrsg.): *Reptile medicine and surgery*. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo., 78–99.
- BRAND, S.J., LANYON, J.M., LIMPUS, C.J. (1999): Digesta composition and retention times in wild immature green turtles, *Chelonia mydas*. *Marine and Freshwater Research* 50, 145. doi:10.1071/MF98033.
- BROSDA, A. (2013): *Untersuchungen zur Infektion mit Oxyuren bei mediterranen Landschildkröten in menschlicher Obhut und ihr Einfluss auf die Entwicklung juveniler Testudo graeca*, Mensch & Buch, Berlin.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2010): Kategorien der Roten Listen der Tiere, Pflanzen und Pilze; https://www.bfn.de/0322_kat.html; letztes Update: 20.1.2010, letzter Zugriff: 30.3.2017.
- CABANAC, M., BERNIERI, C. (2000): Behavioural rise in body temperature

- and tachycardia by handling of a turtle (*Clemmys insculpta*). *Behavioural Processes* 49, 61–68. doi:10.1016/S0376-6357(00)00067-X.
- CAGLE, F.R. (1946): The Growth of the Slider Turtle, *Pseudemys Scripta Elegans*. *The American Midland Naturalist* 36, 685. doi:10.2307/2421465.
- CASH, W.B., HOLBERTON, R.L., KNIGHT, S.S. (1997): Corticosterone secretion in response to capture and handling in free-living red-eared slider turtles. *General and comparative endocrinology* 108, 427–433. doi:10.1006/gcen.1997.6999.
- CHEN, C.-Y., CHEN, S.-M., HUANG, C.-H. (2014): Dietary magnesium requirement of soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*, fed diets containing exogenous phytate. *Aquaculture* 432, 80–84. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.05.001.
- CHEN, C.-Y., HUANG, C.-H. (2015): Effects of dietary magnesium on the growth, carapace strength and tissue magnesium concentrations of soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann). *Aquaculture Research* 46, 2116–2123. doi:10.1111/are.12367.
- CHEN, L.-P., HUANG, C.-H. (2015): Estimation of dietary vitamin A requirement of juvenile soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*. *Aquaculture Nutrition* 21, 457–463. doi:10.1111/anu.12172.
- CHU, J.-H., CHEN, S.-M., HUANG, C.-H. (2007): Effect of dietary iron concentrations on growth, hematological parameters, and lipid peroxidation of soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*. *Aquaculture* 269, 532–537. doi:10.1016/j.aquaculture.2007.03.004.
- CHU, J.-H., CHEN, S.-M., HUANG, C.-H. (2009): Growth, haematological parameters and tissue lipid peroxidation of soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*, fed diets supplemented with different levels of ferrous sulphate. *Aquaculture Nutrition* 15, 54–59. doi:10.1111/j.1365-2095.2008.00567.x.
- CITES (2017): Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Appendices I, II and III.
- CLARK, D.B., GIBBONS, J.W. (1969): Dietary Shift in the Turtle *Pseudemys scripta* (Schoepff) from Youth to Maturity. *Copeia* 1969, 704. doi:10.2307/1441797.
- COBO, M., ANDREU, A.C. (1988): Seed Consumption and Dispersal by the Spur-Thighed Tortoise *Testudo graeca*. *Oikos* 51, 267. doi:10.2307/3565307.
- COE, M.J., BOURN, D., SWINGLAND, I.R. (1979): The Biomass, Production

- and Carrying Capacity of Giant Tortoises on Aldabra. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 286, 163–176. doi:10.1098/rstb.1979.0024.
- CUNNINGHAM, A.A., GILI, C. (1997): Die Haltung in Gefangenschaft. In: BEYNON, P.H., LAWTON, M.P.C., COOPER, J.E. (Hrsg.): *Kompendium der Reptilienkrankheiten. Haltung-Diagnostik-Therapie*, Schlüter, Hannover, 20–38.
- DAVENPORT, J., WONG, T.M., EAST, J. (1992): Feeding and digestion in the omnivorous estuarine turtle *Batagur baska* (Gray). *Herpetological journal* 2, 133–139.
- DEBRAEKELEER, J. (2002): Fütterung verwaister und verletzter Amphibien und Reptilien. In: HAND, M.S., THATCHER, C.D., REMILLARD, R.L., ROUDEBUSH, P. (Hrsg.): *Klinische Diätetik für Kleintiere*. 4. Aufl., Schlütersche, Hannover, 595–599.
- DENARDO, D. (2006): Stress in captive reptiles. In: MADER, D.R. (Hrsg.): *Reptile medicine and surgery*. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo., 119–123.
- DENNERT, C. (1997): Untersuchungen zur Fütterung von Schuppenechsen und Schildkröten. *Inaugural-Dissertation*, Hannover.
- DENNERT, C. (2008): Ernährung von Landschildkröten. 4. Aufl., Natur-und-Tier-Verl., Münster.
- DIAZ-FIGUEROA, O., MITCHELL, M.A. (2006): Gastrointestinal anatomy and physiology. In: MADER, D.R. (Hrsg.): *Reptile medicine and surgery*. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo., 145–162.
- DILLITZER, N. (2012a): Erkrankungen des Verdauungstrakts. In: DILLITZER, N. (Hrsg.): *Tierärztliche Ernährungsberatung. Diätetik und Fütterung von Hunden, Katzen, Reptilien, Meerschweinchen und Kaninchen - mit Zugang zum Elsevier-Portal*. 2. Aufl., Urban & Fischer in Elsevier, München, 149–174.
- DILLITZER, N. (2012b): Grundzüge der Futtermittelkunde. In: DILLITZER, N. (Hrsg.): *Tierärztliche Ernährungsberatung. Diätetik und Fütterung von Hunden, Katzen, Reptilien, Meerschweinchen und Kaninchen - mit Zugang zum Elsevier-Portal*. 2. Aufl., Urban & Fischer in Elsevier, München, 53–71.
- DILLITZER, N. (2012c): Trends in der Ernährung von Hund und Katze. In: DILLITZER, N. (Hrsg.): *Tierärztliche Ernährungsberatung. Diätetik und Fütterung von Hunden, Katzen, Reptilien, Meerschweinchen und Kaninchen -*

- mit Zugang zum Elsevier-Portal. 2. Aufl., Urban & Fischer in Elsevier, München, 73–146.
- DONOGHUE, S. (2006): Nutrition. In: MADER, D.R. (Hrsg.): Reptile medicine and surgery. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo., 251 - 298.
- DOODY, J.S., YOUNG, J.E., GEORGES, A. (2002): Sex differences in activity and movements in the pig-nosed turtle, *Carettochelys insculpta*, in the wet-dry tropics of Australia. *Copeia*, 93–103.
- EHRLEIN, H. (2005): Chymuspassage und Verweilzeit. In: ENGELHARDT, W. VON, BREVES, G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. 2. Aufl., Enke, Stuttgart, 355–356.
- ENGELHARDT, W. VON (2005): Vergleichende Aspekte der Vormagen- und Dickdarmverdauung. In: ENGELHARDT, W. VON, BREVES, G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. 2. Aufl., Enke, Stuttgart, 416–419.
- FAICHNEY, G.J. (1972): An assessment of chromic oxide as an indigestible marker for digestion studies in sheep. *The Journal of Agricultural Science* 79, 493. doi:10.1017/S0021859600025867.
- FILIPPI, E., RUGIERO, L., CAPULA, M., BURKE, R.L., LUISELLI, L. (2010): Population and Thermal Ecology of *Testudo hermanni hermanni* in the Tolfa Mountains of Central Italy. *Chelonian Conservation and Biology* 9, 54–60. doi:10.2744/CCB-0776.1.
- FOX, A.M., MUSACCHIA, X.J. (1959): Notes on the pH of the Digestive Tract of *Chrysemys picta*. *Copeia* 1959, 337. doi:10.2307/1439895.
- FRANZ, R., HUMMEL, J., MÜLLER, D.W.H., BAUERT, M., HATT, J.-M., CLAUSS, M. (2011): Herbivorous reptiles and body mass: effects on food intake, digesta retention, digestibility and gut capacity, and a comparison with mammals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 158, 94–101. doi:10.1016/j.cbpa.2010.09.007.
- FRITZ, J., HUMMEL, J., KIENZLE, E., STREICH, W.J., CLAUSS, M. (2010): To chew or not to chew: fecal particle size in herbivorous reptiles and mammals. *Journal of experimental zoology. Part A, Ecological genetics and physiology* 313, 579–586. doi:10.1002/jez.629.
- FRYE, F.L. (2003): Reptilien richtig füttern, Ulmer, Stuttgart.
- FULLER, G., MARGULIS, S.W., SANTYMIRE, R. (2011): The effectiveness of indigestible markers for identifying individual animal feces and their

- prevalence of use in North American zoos. *Zoo biology* 30, 379–398. doi:10.1002/zoo.20339.
- GATTEN, R.E. (1974a): Effect of Nutritional Status on the Preferred Body Temperature of the Turtles *Pseudemys scripta* and *Terrapene ornata*. *Copeia* 1974, 912. doi:10.2307/1442590.
- GATTEN, R.E. (1974b): Effects of temperature and activity on aerobic and anaerobic metabolism and heart rate in the turtles *Pseudemys scripta* and *Terrapene ornata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 48, 619–648. doi:10.1016/0300-9629(74)90606-9.
- GIBSON, C., HAMILTON, J. (1983): Feeding ecology and seasonal movements of giant tortoises on Aldabra atoll. *Oecologia* 56, 84–92.
- GROSS, K.L., WEDEKIND, K.J., COWELL, C.S., SCHOENHERR, W.D., JEWELL, D.E., ZICKER, S.C., DEBRAEKELEER, J., FREY, R.A. (2002): Nährstoffe. In: HAND, M.S., THATCHER, C.D., REMILLARD, R.L., ROUDEBUSH, P. (Hrsg.): *Klinische Diätetik für Kleintiere*. 4. Aufl., Schlütersche, Hannover, 25–134.
- GUARD, C.L. (1980): The reptilian digestive system: general characteristics. In: SCHMIDT-NIELSEN, K., BOLIS, L., TAYLOR, C.R. (Hrsg.): *Comparative physiology: primitive mammals*. 1. Aufl., Cambridge University Press, Cambridge [England], New York, 43–51.
- GUMPENBERGER, M., WOCHESLÄNDER, R., WEISGRAM, J. (2000): Intraoral Food Transport in *Testudo Hermannii* (Chelonia, Cryptodira) - a Radiographic Video Analysis. *Netherlands Journal of Zoology* 50, 445–454. doi:10.1163/156854200X00199.
- HADJICHRISTOPHOROU, M., GROVE, D.J. (1983): A study of appetite, digestion and growth in juvenile green turtle (*Chelonia mydas* L.) fed on artificial diets. *Aquaculture* 30, 191–201. doi:10.1016/0044-8486(83)90161-8.
- HAILEY, A. (1989): How far do animals move? *Canadian Journal of Zoology* 67, 208–215. doi:10.1139/z89-028.
- HAILEY, A. (1997): Digestive efficiency and gut morphology of omnivorous and herbivorous African tortoises. *Canadian Journal of Zoology* 75, 787–794. doi:10.1139/z97-100.
- HAILEY, A. (1998): The specific dynamic action of the omnivorous tortoise *Kinixys spekii* in relation to diet, feeding pattern, and gut passage. *Physiological zoology* 71, 57–66.

- HARLOW, H.J., HILLMAN, S.S., HOFFMAN, M. (1976): The effect of temperature on digestive efficiency in the herbivorous lizard, *Dipsosaurus dorsalis*. *Journal of Comparative Physiology B* 111, 1–6. doi:10.1007/BF00691105.
- HATCH, K.A., AFIK, D. (1999): Retention time of digesta in insectivorous lizards - a comparison of methods and species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 124, 89–92. doi:10.1016/S1095-6433(99)00094-X.
- HATT, J.-M., GISLER, R., MAYES, R.W., LECHNER-DOLL, M., CLAUSS, M., LIESEGANG, A., WANNER, M. (2002): The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of intake, digestibility, mean retention time and diet selection in galapagos tortoises (*Geochelone nigra*). *Herpetological journal* 12, 45–54.
- HNÍZDO, J., PANTCHEV, N. (Hrsg.) (2011): Tierarztpraxis Schildkröten. Diagnose, Therapie, Pflege, Prävention, Ed. Chimaira, Frankfurt, M.
- HOLT, P.E. (1978): Radiological studies of the alimentary tract in two Greek tortoises (*Testudo graeca*). *The Veterinary record* 103, 198–200.
- HUANG, C.-H., LIN, W.-Y. (2004): Effects of dietary vitamin E level on growth and tissue lipid peroxidation of soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann). *Aquaculture Research* 35, 948–954. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01105.x.
- HUANG, S.-C., CHEN, S.-M., HUANG, C.-H. (2010): Effects of dietary zinc levels on growth, serum zinc, haematological parameters and tissue trace elements of soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*. *Aquaculture Nutrition* 16, 284–289. doi:10.1111/j.1365-2095.2009.00663.x.
- HUKUHARA, T., NAITO, T., KAMEYAMA, H. (1975): Observations on the gastrointestinal movements of the tortoise (*Geoclemys reevesii*) by means of the abdominal-window-technique. *Journal of smooth muscle research* 11, 39–46.
- HUOT-DAUBREMONT, C., GRENOT, C., BRADSHAW, D. (1996): Temperature regulation in the tortoise *Testudo hermanni*, studied with indwelling probes. *Amphibia-Reptilia* 17, 91–102. doi:10.1163/156853896X00135.
- IFA (09.12.2016): GESTIS-Stoffdatenbank. Chrom(III)-oxid; letztes Update: 9.12.2016, letzter Zugriff: 7.1.2017.

- IVERSON, J.B. (1992): A revised checklist with distribution maps of the turtles of the world, Privately Printed, Richmond (Indiana).
- JACKSON, O.F., LAWTON, M.P.C. (1997): Untersuchung des Patienten und Diagnosestellung. In: BEYNON, P.H., LAWTON, M.P.C., COOPER, J.E. (Hrsg.): Kompendium der Reptilienkrankheiten. Haltung-Diagnostik-Therapie, Schlüter, Hannover, 39–46.
- JESSOP, M., BENNETT, T.D. (2010): Tortoises and turtles. In: MEREDITH, A., JOHNSON-DELANEY, C.A. (Hrsg.): BSAVA manual of exotic pets. A foundation manual. 5. Aufl., British Small Animal Veterinary Association, Quedgeley, 249–272.
- JEUNIAUX, C. (1961): Secretion of chitinolytic enzymes by the gastric mucosa and by the pancreas of the reptile *Lacerta viridis* Laurenti. Archives internationales de physiologie et de biochimie 69, 384–385.
- KAHLE, W. (1926): Die Fische, Lurche und Kriechtiere. von Alfred Brehm. In: BREHM, A.E., KAHLE, W. (Hrsg.): Brehms Tierleben. Kleine Ausgabe für Volk und Schule. 3. Aufl., Bibliograph. Inst, Leipzig.
- KAMPHUES, J. (Hrsg.) (2009): Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 11. Aufl., Schaper, Hannover.
- KAMPHUES, J., WOLF, P., COENEN, M., EDER, K., IBEN, C., KIENZLE, E., LIESEGANG, A., MÄNNER, K., ZEBELI, Q., ZENTEK, J. (2014): Supplemente zur Tierernährung. 12. Aufl., Schaper, Alfeld (Leine).
- KARASOV, W.H., PETROSSIAN, E., ROSENBERG, L., DIAMOND, J.M. (1986): How do food passage rate and assimilation differ between herbivorous lizards and nonruminant mammals? Journal of Comparative Physiology B, Biochemical, Systems, and Environmental Physiology 156, 599–609. doi:10.1007/BF00691047.
- KASS, R.E., ULLREY, D.E., TRAPP, A.L. (1982): A Study of Calcium Requirements of the Red-Eared Slider Turtle (*Pseudemys scripta elegans*). The Journal of Zoo Animal Medicine 13, 62. doi:10.2307/20094572.
- KING, G.M. (1996): Reptiles and herbivory. 1. Aufl., Chapman & Hall, London.
- KÖLLE, P. (Hrsg.) (2009): Die Schildkröte. Heimtier und Patient. 1. Aufl., Enke, Stuttgart.
- KÖLLE, P. (2012): Ernährung von Reptilien. In: DILLITZER, N. (Hrsg.): Tierärztliche Ernährungsberatung. Diätetik und Fütterung von Hunden, Katzen, Reptilien, Meerschweinchen und Kaninchen - mit Zugang zum Elsevier-Portal.

2. Aufl., Urban & Fischer in Elsevier, München, 287–311.
- KÖLLE, P., BLAHAK, S. (2015): ReptilienSkills - Praxisleitfaden Schildkröten, Echsen und Schlangen. MemoVet. 1. Aufl., Schattauer, Stuttgart.
- KOTB, A.R., LUCKEY, T.D. (1972): Markers in nutrition. Nutrition abstracts and reviews 42, 813–845.
- KREULA, M.S. (1947): Absorption of carotene from carrots in man and the use of the quantitative chromic oxide indicator method in the absorption experiments. Biochemical Journal 41, 269–273.
- LAGARDE, F., BONNET, X., CORBIN, J., HENEN, B., NAGY, K., MARDONOV, B., NAULLEAU, G. (2003): Foraging behaviour and diet of an ectothermic herbivore. Ecography 26, 236–242. doi:10.1034/j.1600-0587.2003.03365.x.
- LAWRENCE, K., JACKSON, O.F. (1982): Passage of ingesta in tortoises. The Veterinary record 111, 492–493.
- LAWTON, M.P.C. (1997): Besondere Haltungsprobleme. In: BEYNON, P.H., LAWTON, M.P.C., COOPER, J.E. (Hrsg.): Kompendium der Reptilienkrankheiten. Haltung-Diagnostik-Therapie, Schlüter, Hannover, 163–167.
- LEI, S.-J. (2006): Effects of ration level and feeding frequency on digestibility in juvenile soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*. Journal of Zhejiang University-Science B 7, 580–585. doi:10.1631/jzus.2006.B0580.
- LIESEGANG, A., HATT, J.-M., NIJBOER, J., FORRER, R., WANNER, M., ISENBÜGEL, E. (2001): Influence of different dietary calcium levels on the digestibility of Ca, Mg, and P in captive-born juvenile Galapagos giant tortoises (*Geochelone nigra*). Zoo biology 20, 367–374. doi:10.1002/zoo.1035.
- LIESEGANG, A., HATT, J.-M., WANNER, M. (2007): Influence of different dietary calcium levels on the digestibility of Ca, Mg and P in Hermann's tortoises (*Testudo hermanni*). Journal of animal physiology and animal nutrition 91, 459–464. doi:10.1111/j.1439-0396.2007.00676.x.
- LINNÉ, C.v. (1758): Systema Naturae, Salvius, Holmiae.
- LOEHLEIN, W., WIESNER, H., CLAUSS, M., KIENZLE, E. (2003): Investigations on the use of chromium oxide as an inert external marker in captive Asian elephants (*Elephas maximus*). Passage and recovery rates. In: FIDGETT, A.L., CLAUSS, M., GANSLOSSER, U., HATT, J.-M., NIJBOER, J. (Hrsg.): Zoo animal nutrition. Vol. II, Filander-Verl., Fürth / Bay., 223–232.

- LONG, C.T., PAGE, R.B., HOWARD, A.M., MCKEON, G.P., FELT, S.A. (2010): Comparison of Gastrografin to barium sulfate as a gastrointestinal contrast agent in red-eared slider turtles (*Trachemys scripta elegans*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 51, 42–47.
- LOWE, S., BROWNE, M., BOUDJELAS, S., POORTER, M. DE (2000): 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. A selection from the Global Invasive Species Database.; http://www.issg.org/pdf/publications/worst_100/english_100_worst.pdf; letztes Update: November 2004, letzter Zugriff: 31.3.2017.
- MACKAY, R.S. (1968): Observations on Peristaltic Activity versus Temperature and Circadian Rhythms in Undisturbed *Varanus flavescens* and *Ctenosaura pectinata*. *Copeia* 1968, 252. doi:10.2307/1441751.
- MADER, D.R. (Hrsg.) (2006): Reptile medicine and surgery. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo.
- MANS, C. (2013): Clinical Update on Diagnosis and Management of Disorders of the Digestive System of Reptiles. *Journal of Exotic Pet Medicine* 22, 141–162. doi:10.1053/j.jepm.2013.05.006.
- MARCUS, L.C. (1983): Amphibien und Reptilien in Heim, Labor und Zoo, Enke, Stuttgart.
- MCARTHUR, S. (1996): Veterinary management of tortoises and turtles. 1. Aufl., Blackwell, Oxford.
- MCARTHUR, S., BARROWS, M. (2004a): General care of chelonians. In: MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.): Medicine and surgery of tortoises and turtles. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 87–107.
- MCARTHUR, S., BARROWS, M. (2004b): Nutrition. In: MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.): Medicine and surgery of tortoises and turtles. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 73–85.
- MCARTHUR, S., MEYER, J., INNIS, C. (2004): Anatomy and physiology. In: MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.): Medicine and surgery of tortoises and turtles. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 35–72.
- MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.) (2004): Medicine and surgery of tortoises and turtles. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- MCBEE, R.H. (1970): Metabolic Contributions of the Cecal Flora. *The American*

- Journal of Clinical Nutrition 23, 1514–1518.
- MCCAULEY, S.J., BJORNDALE, K.A. (1999): Response to dietary dilution in an omnivorous freshwater turtle: implications for ontogenetic dietary shifts. *Physiological and biochemical zoology* 72, 101–108. doi:10.1086/316642.
- MCMMASTER, M.K., DOWNS, C.T. (2008): Digestive parameters and water turnover of the leopard tortoise. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 151, 114–125. doi:10.1016/j.cbpa.2008.06.007.
- MEEK, R. (1988): The thermal ecology of Hermann's tortoise (*Testudo hermanni*) in summer and autumn in Yugoslavia. *Journal of Zoology*, 99–111.
- MEIENBERGER, C., WALLIS, I.R., NAGY, K.A. (1993): Food Intake Rate and Body Mass Influence Transit Time and Digestibility in the Desert Tortoise (*Xerobates agassizii*). *Physiological zoology* 66, 847–862. doi:10.1086/physzool.66.5.30163827.
- MERTENS, D.R. (2005): Rate and extent of digestion. In: DIJKSTRA, J., FORBES, J.M., FRANCE, J. (Hrsg.): *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. 2. Aufl., CABI Pub, Wallingford, Oxfordshire, UK, Cambridge, MA, 13–47.
- MEYER, H., ZENTEK, J. (2010): *Ernährung des Hundes. Grundlagen-Fütterungs-Diätetik*. 6. Aufl., Enke, Stuttgart.
- MEYER, J. (1998): Gastrogratin as a Gastrointestinal Contrast Agent in the Greek Tortoise (*Testudo hermanni*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 29, 183–189.
- MÖSTL, E., PALME, R. (2002): Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology* 23, 67–74. doi:10.1016/S0739-7240(02)00146-7.
- NORCONK, M.A., OFTEDAL, O.T., POWER, M.L., JAKUBASZ, M., SAVAGE, A. (2002): Digesta passage and fiber digestibility in captive white-faced sakis (*Pithecia pithecia*). *American journal of primatology* 58, 23–34. doi:10.1002/ajp.10048.
- OBST, F.J. (1988): *Die Welt der Schildkröten*. 2. Aufl., Ed. Leipzig, Leipzig.
- ÖFNER, S. (2008): Who is who? Wichtige Unterscheidungsmerkmale in der Praxis gängiger Arten. In: BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER (Hrsg.): *Reptilienmedizin. Fortbildungsveranstaltungen der Bayerischen Landestierärztekammer - Band 6*, Gotteswinter Verlag, München, 5–14.
- OWENS, F.N., HANSON, C.F. (1992): External and Internal Markers for

- Appraising Site and Extent of Digestion in Ruminants. *Journal of Dairy Science* 75, 2605–2617. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)78023-0.
- PARMENTER, R.R. (1980): Effects of Food Availability and Water Temperature on the Feeding Ecology of Pond Sliders (*Chrysemys s. scripta*). *Copeia* 1980, 503. doi:10.2307/1444528.
- PARMENTER, R.R. (1981): Digestive turnover rates in freshwater turtles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 70, 235–238. doi:10.1016/0300-9629(81)91451-1.
- PARMENTER, R.R., AVERY, H.W. (1990): The Feeding Ecology of the Slider Turtle. In: GIBBONS, J.W. (Hrsg.): *Life history and ecology of the slider turtle*, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 257–266.
- PATTERSON, T.L. (1932): Comparative physiology of the gastric hunger mechanism. *Annals of the New York Academy of Sciences* 34, 55–272. doi:10.1111/j.1749-6632.1932.tb56974.x.
- PÉREZ-SANTIGOSA, N., FLORENCIO, M., HIDALGO-VILA, J., DÍAZ-PANIAGUA, C. (2011): Does the exotic invader turtle, *Trachemys scripta elegans*, compete for food with coexisting native turtles? *Amphibia-Reptilia* 32, 167–175. doi:10.1163/017353710X552795.
- PETERSON, C.C., NAGY, K.A., DIAMOND, J. (1990): Sustained metabolic scope. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 87, 2324–2328.
- PIGDEN, W.J., BRISSON, G.J. (1956): Effect of Frequency of Administration of Chromic Oxide on its Fecal Excretion Pattern by Grazing Wethers. *Canadian Journal of Agricultural Science* 36, 146–155.
- PORTER, K.R. (1972): *Herpetology*, Saunders, Philadelphia.
- PRÉVOT-JULLIARD, A.-C., GOUSSET, E., ARCHINARD, C., CADI, A., GIRONDOT, M. (2007): Pets and invasion risks. *Amphibia-Reptilia* 28, 139–143. doi:10.1163/156853807779799036.
- PRYOR, G.S., BJORNDAL, K.A. (2005): Symbiotic fermentation, digesta passage, and gastrointestinal morphology in bullfrog tadpoles (*Rana catesbeiana*). *Physiological and biochemical zoology* 78, 201–215. doi:10.1086/427050.
- RATHKE, H. (1848): *Ueber die Entwicklung der Schildkröten. Untersuchungen*, Vieweg, Braunschweig.
- RICK, C.M., BOWMAN, R.I. (1961): Galapagos Tomatoes and Tortoises. *Evolution* 15, 407. doi:10.2307/2406309.

- RIDDLE, O. (1909): The rate of digestion in cold-blooded vertebrates - The influence of season and temperature. *American Journal of Physiology* 24, 447–458.
- ROGNER, M. (2008): Schildkröten. Biologie, Haltung, Vermehrung, Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- ROMERO, L.M., REED, J.M. (2005): Collecting baseline corticosterone samples in the field: is under 3 min good enough? *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology* 140, 73–79. doi:10.1016/j.cbpb.2004.11.004.
- ROSSI, J.V. (2006): Biology and husbandry. General husbandry and management. In: MADER, D.R. (Hrsg.): *Reptile medicine and surgery*. 2. Aufl., Saunders Elsevier, St. Louis, Mo., 25–41.
- SACHVERSTÄNDIGENGRUPPE TIERSCHUTZGERECHTE HALTUNG VON TERRARIENTIEREN (1997): Mindestanforderungen an die Haltung von Reptilien. vom 10. Januar 1997.
- SADEGHAYOBI, E., BLAKE, S., WIKELSKI, M., GIBBS, J., MACKIE, R., CABRERA, F. (2011): Digesta retention time in the Galápagos tortoise (*Chelonoidis nigra*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 160, 493–497. doi:10.1016/j.cbpa.2011.08.008.
- SANTOS, A.L.Q., LOPES, L.A.R., FERREIRA, C.G., VIEIRA, L.G., KAMINISHI, A.P.S., MENEZES, L.T., LEONARDO, T.G. (2011): Determination of gastrointestinal transit time in *Podocnemis expansa* Schweigger, 1812 (Amazon turtle) (Testudines: Podocnemididae). *PUBVET* 5.
- SASSENBURG, L., ZWART, P. (2015): Schildkröten. In: GABRISCH, K., FEHR, M., SASSENBURG, L., ZWART, P. (Hrsg.): *Krankheiten der Heimtiere*. 8. Aufl., Schlütersche, Hannover [Germany], 757–855.
- SCHMIDT-NIELSEN, K., BOLIS, L., TAYLOR, C.R. (Hrsg.) (1980): *Comparative physiology: primitive mammals*. 1. Aufl., Cambridge University Press, Cambridge [England], New York.
- SKOCZYLAS, R. (1978): Physiology of the digestive tract. In: GANS, C. (Hrsg.): *Biology of the reptilia*. 8. Aufl., Acad. Press, London [u.a.], 589–717.
- SMITH, F.A. (1995): Scaling of Digestive Efficiency with Body Mass in *Neotoma*. *Functional Ecology* 9, 299. doi:10.2307/2390577.
- SOUICI, S.W., FACHMANN, W., KRAUT, H., KIRCHHOFF, E. (2008): Food

- composition and nutrition tables. On behalf of the Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 7. Aufl., MedPharm Scientific Publishers; CRC Press, Stuttgart, Boca Raton, FL.
- SPENCER, R.J., THOMPSON, M.B., HUME, I.D. (1998): The diet and digestive energetics of an Australian short-necked turtle, *Emydura macquarii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 121, 341–349.
- STAHL, S.J., DONOGHUE, S. (2002): Fütterung von Reptilien. In: HAND, M.S., THATCHER, C.D., REMILLARD, R.L., ROUDEBUSH, P. (Hrsg.): *Klinische Diätetik für Kleintiere*. 4. Aufl., Schlütersche, Hannover, 1465–1485.
- STEVENS, C.E., HUME, I.D. (1995): *Comparative physiology of the vertebrate digestive system*. 2. Aufl., Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- STUBBS, D. (1989): *Testudo hermanni*. Hermann's Tortoise. In: SWINGLAND, I.R., KLEMENS, M.W. (Hrsg.): *The Conservation biology of tortoises*, IUCN-the World Conservation Union, Gland, Switzerland, 34–36.
- STUBBS, D., PULFORD, E., HAILEY, A., TYLER, W. (1984): Population Ecology of European Tortoises. *Amphibia-Reptilia* 5, 57–68. doi:10.1163/156853884X00093.
- TAYLOR, S.K., CITINO, S.B., ZDZIARSKI, J.M., BUSH, R.M. (1996): Radiographic anatomy and barium sulfate transit time of the gastrointestinal tract of the leopard tortoise (*Testudo pardalis*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 27, 180–186.
- THROCKMORTON, G. (1973): Digestive Efficiency in the Herbivorous Lizard *Ctenosaura pectinata*. *Copeia* 1973, 431. doi:10.2307/1443106.
- Tortoise & Freshwater Turtle Specialist Group. (1996): *Emys orbicularis*. The IUCN Red List of Threatened Species 1996: e.T7717A97292665, Downloaded on 24 February 2017.
- TRACY, C.R., ZIMMERMAN, L.C., TRACY, C., BRADLEY, K.D., CASTLE, K. (2006): Rates of Food Passage in the Digestive Tract of Young Desert Tortoises. *Chelonian Conservation and Biology* 5, 269–273. doi:10.2744/1071-8443(2006)5[269:ROFPIT]2.0.CO;2.
- TROYER, K. (1984a): Diet selection and digestion in *Iguana iguana*. *Oecologia* 61, 201–207. doi:10.1007/BF00396761.
- TROYER, K. (1984b): Structure and Function of the Digestive Tract of a Herbivorous Lizard *Iguana iguana*. *Physiological zoology* 57, 1–8.

- doi:10.1086/physzool.57.1.30155960.
- TROYER, K. (1987): Small differences in daytime body temperature affect digestion of natural food in a herbivorous lizard (*Iguana iguana*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 87, 623–626. doi:10.1016/0300-9629(87)90371-9.
- TVT (2004): Europäische Landschildkröten.
- TVT (2010): Checkliste für die Beurteilung von Terrarienabteilungen im Großhandel: Reptilien. Merkblatt Nr. 128.
- UNEP (2017): The Species+ Website, Nairobi, Kenya.
- VALENTE, A.L., MARCO, I., PARGA, M.L., LAVIN, S., ALEGRE, F., CUENCA, R. (2008): Ingesta passage and gastric emptying times in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Research in veterinary science* 84, 132–139. doi:10.1016/j.rvsc.2007.03.013.
- VAN DIJK, P.P., CORTI, C., MELLADO, V.P., CHEYLAN, M. (2004): *Testudo hermanni*. The IUCN Red List of Threatened Species 2004; <http://www.iucnredlist.org/details/21648/0>; letzter Zugriff: 30.3.2017.
- VAN DIJK, P.P., HARDING, J., HAMMERSON, G.A. (2011): *Trachemys scripta*. (errata version published in 2016) The IUCN Red List of Threatened Species 2011; <http://www.iucnredlist.org/details/22028/0>; letzter Zugriff: 24.2.2017.
- VAN SOEST, P.J. (1994): *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2. Aufl., Comstock Pub.
- VARELA, R.O., BUCHER, E.H. (2002): Seed Dispersal by *Chelonoidis chilensis* in the Chaco Dry Woodland of Argentina. *Journal of Herpetology* 36, 137. doi:10.2307/1565820.
- VECCHIO, S. DEL, BURKE, R.L., RUGIERO, L., CAPULA, M., LUISELLI, L. (2011): The turtle is in the details. *Animal Biology* 61, 249–261. doi:10.1163/157075511X584209.
- VERGARA, P., FERRANDO, C., JIMÉNEZ, M., FERNÁNDEZ, E., GOÑALONS, E. (1989): Factors determining gastrointestinal transit time of several markers in the domestic fowl. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 74, 867–874. doi:10.1113/expphysiol.1989.sp003357.
- VETTER, H. (2004): *Turtles of the world Vol. 2 North America*. Schildkröten der Welt Band 2 Nordamerika, Edition Chimaira/ Verlag ACS, Frankfurt am Main, Rodgau.

- VOE, R.S. DE (2014): Nutritional Support of Reptile Patients. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 17, 249–261. doi:10.1016/j.cvex.2014.01.009.
- VOGEL, S. (o. J.): Pflanzen, die unsere Schildkröten fressen dürfen. In: VOGEL, S. (Hrsg.): Schildkröten - Futterpflanzen. Sonderdruck des Heftes II/2000 Über die Ernährung der Landschildkröten und die in Deutschland wachsenden Futterpflanzen, L. Staackmann Verlag KG, Linden, 7–36.
- WARNER, A.C.I. (1981): Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. *Nutrition Abstracts and Reviews*. B 51, 789–820.
- WEGEHAUPT, W. (2012): Europäische Schildkröten. Lebensraum und Lebensweise. 1. Aufl., Wegehaupt Verlag, Kressbronn am Bodensee.
- WEGEHAUPT, W. (2013): Europäische Landschildkröten - Naturnahe Aufzucht. Eine kompakte Anleitung für die Unterbringung, Pflege und Ernährung von Jungtieren. 1. Aufl., Wegehaupt-Verlag, Kressbronn am Bodensee.
- WETTER ONLINE REDAKTION (30.07.2013): Rückblick Juli 2013; <http://www.wetteronline.de/wetterrueckblick/2013-07-30-rb>; letzter Zugriff: 27.8.2016.
- WETTER ONLINE REDAKTION (29.08.2013): Rückblick August 2013; <https://www.wetteronline.de/wetterrueckblick/2013-08-29-rb>; letzter Zugriff: 27.8.2016.
- WETTER ONLINE REDAKTION (29.11.2013): Rückblick Herbst 2013; <https://www.wetteronline.de/wetterrueckblick/2013-11-29-rh>; letzter Zugriff: 27.8.2016.
- WILKINSON, R. (2004a): A selective chelonian taxonomy. In: MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.): *Medicine and surgery of tortoises and turtles*. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 519–522.
- WILKINSON, R. (2004b): Clinical pathology. In: MCARTHUR, S., WILKINSON, R., MEYER, J. (Hrsg.): *Medicine and surgery of tortoises and turtles*. 1. Aufl., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 141–186.
- WILLSON, M.F. (1989): Gut Retention Times of Experimental Pseudoseeds by Emus. *Biotropica* 21, 210–213. doi:10.2307/2388645.
- WOCHESLÄNDER, R., HILGERS, H., WEISGRAM, J. (1999): Feeding Mechanism of *Testudo Hermanni Boettgeri* (Chelonia, Cryptodira). *Netherlands Journal of Zoology* 49, 1–13. doi:10.1163/156854299X00010.
- WOOD, J.R., WOOD, F.E. (1981): Growth and digestibility for the green turtle

- (*Chelonia mydas*) fed diets containing varying protein levels. *Aquaculture* 25, 269–274. doi:10.1016/0044-8486(81)90188-5.
- WRIGHT, R.D., FLOREY, H.W., SANDERS, A.G. (1957): Observations on the gastric mucosa of reptilia. *Experimental Physiology* 42, 1–14. doi:10.1113/expphysiol.1957.sp001224.
- WU, G.-S., HUANG, C.-H. (2008): Estimation of dietary copper requirement of juvenile soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*. *Aquaculture* 280, 206–210. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.05.013.
- WYNEKEN, J., GODFREY, M.H., BELS, V. (Hrsg.) (2008): *Biology of turtles*, CRC Press; Taylor & Francis Group, Boca Raton, New York, Abingdon.
- ZIMMERMAN, L.C., TRACY, C.R. (1989): Interactions between the Environment and Ectothermy and Herbivory in Reptiles. *Physiological zoology* 62, 374–409. doi:10.1086/physzool.62.2.30156176.

Rechtsnormen

Tierschutzgesetz (TierSchG).

Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels (VO (EG) 338/97).

Verordnung (EU) 2017/160 der Kommission vom 20. Januar 2017 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels (VO (EU) 2017/160).

IX. ANHANG

Tabelle 13: In der Literatur verwendete geläufige Bezeichnungen, Abkürzungen und Definitionen für Passagezeiten

Geläufige Abkürzungen	Begriff Englisch und Synonyme	Begriff Deutsch	Definition	Anmerkung	Quelle
TT; $t_{\min}; (t_0)$ TTT	Transit time =digestive turnover time Minimum faecal transit times Total transit time	Transitzeit	Zeit von der Ingestion des Markers bis zum ersten Erscheinen im Kot Erste Ingestion bis erstes Erscheinen der Markerteile (Tomate) im Kot Ingestion bis zum ersten Erscheinen in der Kloake (radiologisch) bzw. im Rectum	Suggeriert, dass es keinen „Pool“ gibt, in dem Durchmischung stattfindet, ist aber unerlässlich zur Berechnung der wahren mittleren Retentionszeit (VAN SOEST, 1994).	(WARNER, 1981; PARMENTER, 1981; VAN SOEST, 1994; EHRLEIN, 2005) (MCMASTER u. DOWNS, 2008) (MEYER, 1998) bzw. (PRYOR u. BJORNDALE, 2005)
	(gut) retention time		Zeit zwischen dem Erscheinen von 5 bis 80 % des Markers im Kot	Die %-Zahlen wurden dabei willkürlich festgelegt	(VAN SOEST, 1994)
MRT	Mean (retention) time = mean transit time Average time of retention	Mittlere Retentionszeit; Mittlere Verweildauer	Zeit, zu der der Durchschnitt aller Markermoleküle ausgeschieden ist nach einmaliger Markergabe („pulse dose“); entspricht dem Verteilungsdurchschnitt der Markerkonzentration im Kot Durchschnitt aus t_{\min} und t_{\max} (t_{\max} = letzte Marker(Samen-) aufnahme bis letzte Exkretion)	MRT ist der beste Einzelparameter für die PZ durch den ganzen MDT (GUARD, 1980; WARNER, 1981);	(WARNER, 1981; VAN SOEST, 1994; EHRLEIN, 2005) (COBO u. ANDREU, 1988)

M50 T50 MTT	Median retention time = 50% excretion time =Half-life Mean faecal transit time Mean transit time	Mediane Retentionszeit	Zeitintervall, in dem 50% der (durchschnittlich) aufgenommenen Marker im MDT verblieben T50 = 50% des aufgenommenen Markers ist im Kot ausgeschieden >50% der Kotprobe bestehen aus dem Studienfutterbestandteil = Durchschnittliche Stundenanzahl, bis die Hälfte des Markers im Kot auftaucht	Entspricht nicht genau der MRT, ist aber so ähnlich, dass Vergleiche zwischen den Taxa möglich sind	(KARASOV et al., 1986; STEVENS u. HUME, 1995; PRYOR u. BJORN DAL, 2005) (VAN SOEST, 1994) (MCMASTER u. DOWNS, 2008) (TROYER, 1987)
t1/2	Turnover time Half-life	Umwälzungs-/Fluktuationszeit	= Durchschnittszeit, die Futter im Verdauungskompartiment verbleibt = Zeit, in der 63% des Substrates verdaut/umgewandelt sind Zeit, in der 50% turnover des Substrates geschehen sind	= auch Messung der „substrat survival“	(VAN SOEST, 1994)
	Appearance time (5% - 50% - 95%)		Zeitpunkt des Auftretens einer bestimmten % Zahl der Ingesta-Marker im Kot		(KARASOV et al., 1986)
T(G)CT t _{max}	total (gut) clearance time		Über 95% des Markers sind bereits ausgeschieden -> maximal 5 % des Markers sind noch im Verdauungstrakt = der Tag, an dem die meisten Marker ausgeschieden waren = Ingestion bis zum letzten Auftreten des Markers im Kot		(PRYOR u. BJORN DAL, 2005) (HADJICHRISTOPH OROU u. GROVE, 1983; DAVENPORT et al., 1992)
t _{max}	Time to maximum marker concentration „elimination peak“	Eliminationspitze			(NORCONK et al., 2002)

Tabelle 14: Sample Regressionen zum Einfluss der durchschnittlichen Umgebungstemperatur auf die „Bolus“-MRT

	Wassertemperatur <i>T. s. elegans</i>		Wassertemperatur <i>E. orbicularis</i>		Lufttemperatur <i>T. h. boettgeri</i>	
	b	Intercept	b	Intercept	b	Intercept
Sample 1	-0.1507	7.6440	0.2156	-0.2600	-0,04246	8,04382
Sample 2	0.2257	-1.0187	-0.3279	11.5984	-0,27463	13,7079
Sample 3	-0.2555	12.6841	-0.0478	4.66478	-1,198	34,306
Sample 4	-0.3598	13.3887	-0.4001	13.9158	-1,1869	49,55
Sample 5	-0.4027	14.8115	0.5669	-9.0137	0,2256	4,0566
Sample 6	-0.09909	7.59259	-0.3826	13.6434	0,03251	8,17103
Sample 7	-0.1009	7.5729	-0.2301	9.7085	-1,259	37,433
Sample 8	0.07449	3.28014	0.5744	-9.5962	-0,1861	11,9058
Sample 9	0.01741	4.16412	-0.1551	7.8861	-0,3267	14,7022
Sample 10	-0.1585	9.7263	0.02169	3.67627	-0,288	13,343
Mittelwert	-0,12096	7,98457	-0,0165	4,62234	-0,450368	19,52194
Median	-0,1258	7,61830	-0,1014	6,27544	-0,281315	13,52545

Tabelle 15: Sample Regressionen zum Einfluss des durchschnittlichen Körpergewichtes auf die „Bolus“-MRT

	WSK		LSK	
	b	Intercept	b	Intercept
Sample 1	0,0016	3,243	0,001608	6,415176
Sample 2	0,0029	3,551	-0,001029	8,258398
Sample 3	0,000095	4,81E+00	0,0006892	8,8495169
Sample 4	0,0019	3,7016	0,00925	6,0748
Sample 5	-0,0028	6,0734	0,001069	8,332187
Sample 6	-0,0015	4,9615	0,0002051	8,716551
Sample 7	0,0003	4,1403	0,003403	8,90568
Sample 8	-0,0005	4,5701	0,002149	7,043521
Sample 9	-0,0023	5,823	0,002274	6,551989
Sample 10	-0,0014	4,9548	0,002945	5,874282
Mittelwert	-0,0001705	4,58287	0,00225633	7,50221009
Median	-0,0002025	4,69005	0,0018785	7,6509595

Tabelle 16: Lineare Regressionen zum Einfluss des durchschnittlichen Körpergewichtes auf die „Bolus“-MRT in Abhängigkeit von der Altersgruppe

Art	Altersgruppe	b	Intercept
<i>T. s. elegans</i>	juvenil	0,0022	5,2289
	adult	-0,0005	4,831
<i>E. orbicularis</i>	juvenil	0,0075	4,1823
	adult	0,001	3,5674
<i>T. h. boettgeri</i>	juvenil	0,0309	2,5642
	adult	0,0039	7,0023

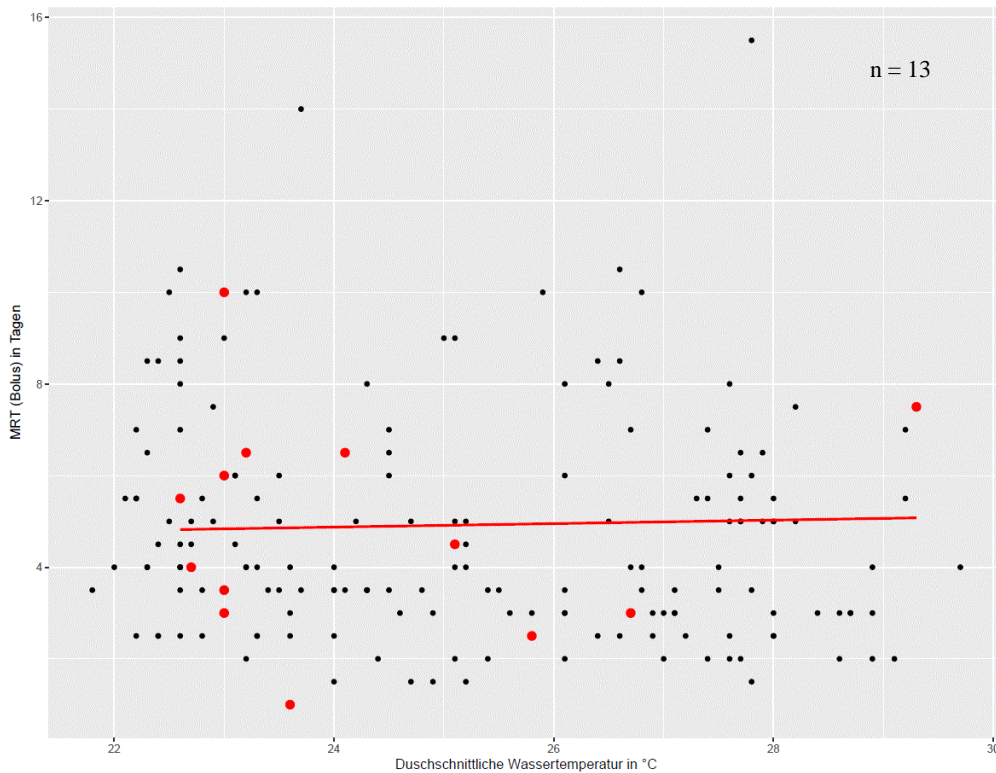


Abbildung 32: „Bolus“-MRT in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (Beispiel einer der 10 Sample Regressionen bei *T. s. elegans*; schwarze Punkte = alle Messwerte der *T. s. elegans*; rote Punkte = Zufallsziehung einer Passage pro SK; rote Linie = errechnete Regression)

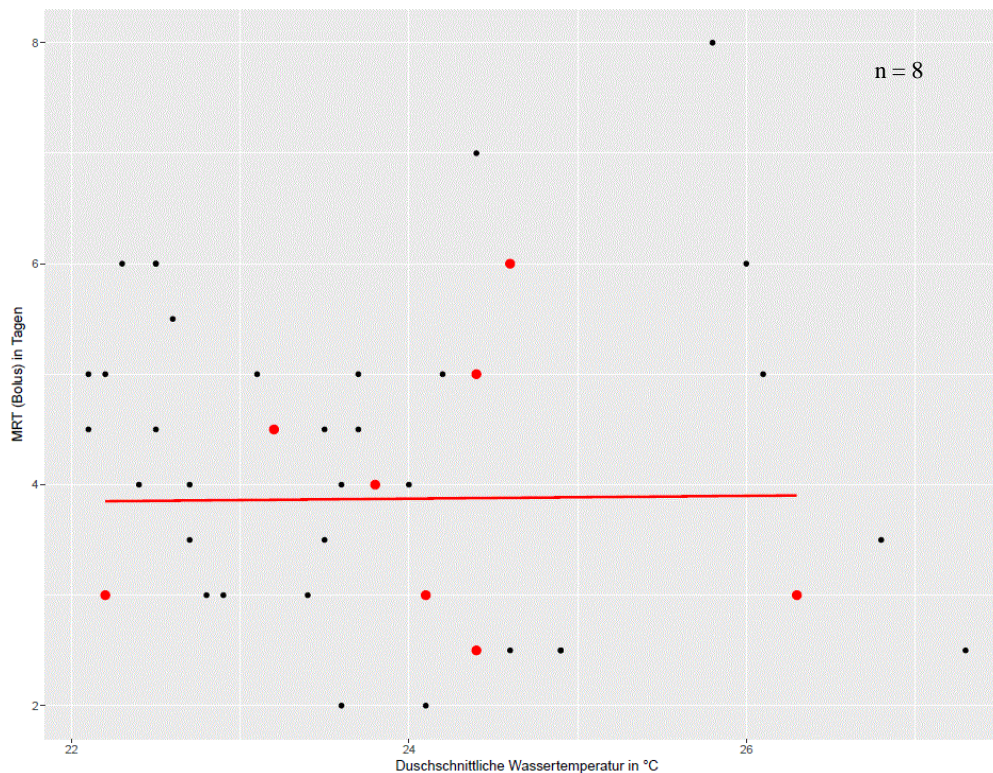


Abbildung 33: „Bolus“-MRT in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (Beispiel einer der 10 Sample Regressionen bei *E. orbicularis*; schwarze Punkte = alle Messwerte der *E. orbicularis*; rote Punkte = Zufallsziehung einer Passage pro SK; rote Linie = errechnete Regression)

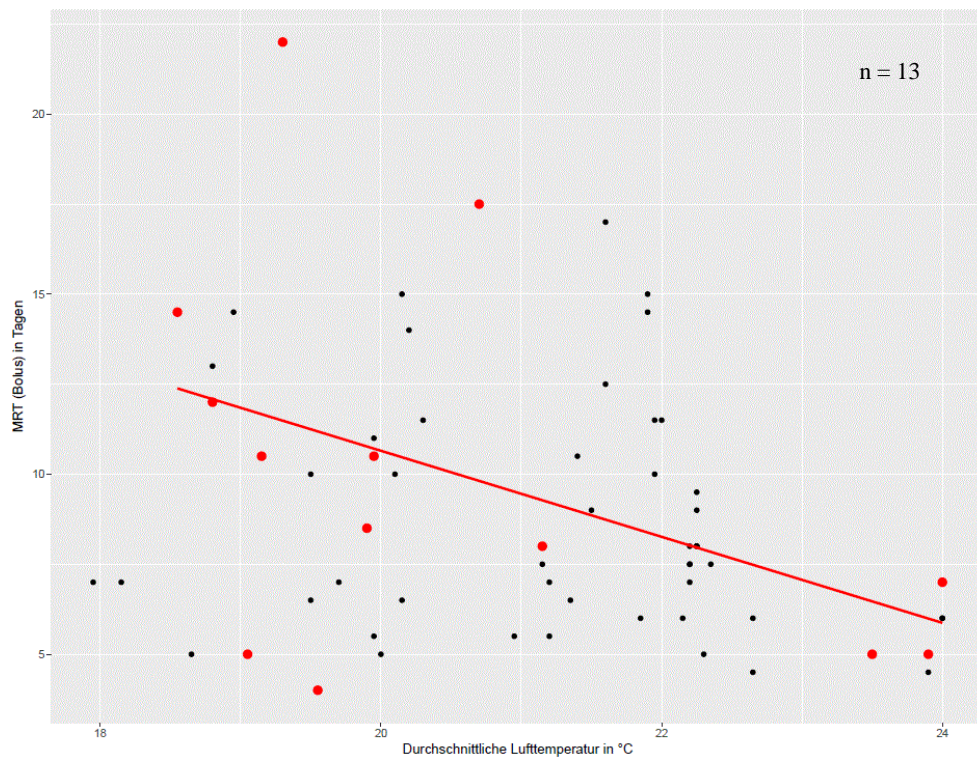


Abbildung 34: „Bolus“-MRT in Abhängigkeit von der Lufttemperatur (Beispiel einer der 10 Sample Regressionen bei *T. h. boettgeri*; schwarze Punkte = alle Messwerte der *T. h. boettgeri*; rote Punkte = Zufallsziehung einer Passage pro SK; rote Linie = errechnete Regression)

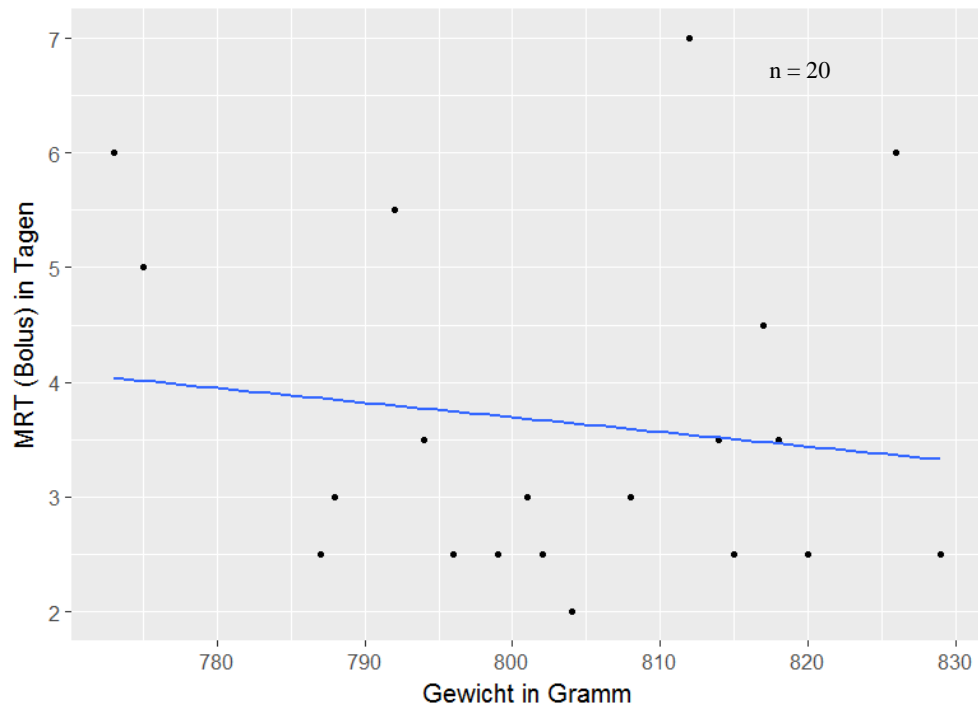


Abbildung 35: MRT in Abhängigkeit vom Körpergewicht - Beispiel einer Sample Regression bei SK Nr. 11 (*T. s. elegans*; schwarze Punkte = alle Messwerte der SK; blaue Linie = errechnete Regression)

X. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: <i>TRACHEMYS SCRIPTA ELEGANS</i> (MÄNNLICH)	4
ABBILDUNG 2: <i>EMYS ORBICULARIS</i> (MÄNNLICH)	8
ABBILDUNG 3: <i>TESTUDO HERMANNI BOETTGERI</i> (JUVENIL)	11
ABBILDUNG 4: BEISPIEL DER MARKEREXKRETION NACH EINMALIGER MARKERGABE (BEIM WIEDERKÄUER) (VEREINFACHT NACH VAN SOEST (1994)).....	33
ABBILDUNG 5: FOTOGRAFIE DES SCHILDKRÖTENPUDDINGS (LINKS MIT UND RECHTS OHNE CHROMOXIDGRÜN).....	59
ABBILDUNG 6: NATURFARBENER KOT EINER WSK („BBBB“)	60
ABBILDUNG 7: KOT EINER WSK MIT CHROMOXIDGRÜN („BGGG“)	60
ABBILDUNG 8: FIKTIVES BEISPIEL DER AUSZÄHLUNG DER VERSCHIEDENEN PASSAGEZEITVARIABLEN VON T_{\min} UND T_{\max}	61
ABBILDUNG 9: ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHSCHNITTlichen PASSAGEZEITEN (IN TAGEN) DER DREI SCHILDKRÖTENARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i> UND DIE VERSCHIEDENEN AUSZÄHLUNGSVARIANTEN (N = ANZAHL DER PASSAGEN)	63
ABBILDUNG 10: „BOLUS“-MRT DER ALTERSGRUPPEN DER DREI SK-ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i> (MITTELWERT JE INDIVIDUUM)	64
ABBILDUNG 11: „LANGE“ MRT DER ALTERSGRUPPEN DER DREI SK-ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i> (MITTELWERT JE INDIVIDUUM)	65
ABBILDUNG 12: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i> (MITTELWERT JE INDIVIDUUM) GETRENNT NACH FUTTERARTEN	65
ABBILDUNG 13: „LANGE“ MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i> (MITTELWERT JE INDIVIDUUM) GETRENNT NACH FUTTERARTEN	66
ABBILDUNG 14: „BOLUS“- T_{\min} (D) DER EINZELNEN INDIVIDUEN VON <i>T. s. ELEGANS</i> (NR. 1 – 13) UND <i>E. ORBICULARIS</i> (NR. 17 – 24). JEDER PUNKT STELLT HIERBEI EINE PASSAGE BEIM JEWELIGEN TIER DAR.....	68
ABBILDUNG 15: „BOLUS“- T_{\min} (D) DER EINZELNEN INDIVIDUEN VON <i>T. h. BOETTGERI</i> (NR. 25 - 37). JEDER PUNKT STELLT HIERBEI EINE PASSAGE BEIM JEWELIGEN TIER DAR	69
ABBILDUNG 16: „BOLUS“-MRT (D) DER EINZELNEN INDIVIDUEN VON <i>T. s. ELEGANS</i> (NR. 1 – 13) UND <i>E. ORBICULARIS</i> (NR. 17 – 24). JEDER PUNKT STELLT HIERBEI EINE PASSAGE BEIM JEWELIGEN TIER DAR.....	70
ABBILDUNG 17: „BOLUS“-MRT (D) DER EINZELNEN INDIVIDUEN VON <i>T. h. BOETTGERI</i> (NR. 25 - 37). JEDER PUNKT STELLT HIERBEI EINE PASSAGE BEIM JEWELIGEN TIER DAR	70
ABBILDUNG 18: „BOLUS“-MRT BEI <i>T. s. ELEGANS</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WASSERTEMPERATUR.....	71
ABBILDUNG 19: „BOLUS“-MRT BEI <i>E. ORBICULARIS</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WASSERTEMPERATUR.....	72
ABBILDUNG 20: „BOLUS“-MRT BEI <i>T. h. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DER LUFTTEMPERATUR	72
ABBILDUNG 21: EINFLUSS DER KALENDERWOCHE AUF DIE "BOLUS"-MRT BEI DEN DREI SK- ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. h. BOETTGERI</i>	73
ABBILDUNG 22: EINFLUSS DES KÖRPERGEWICHTES AUF DIE "BOLUS"-MRT BEI DEN DREI SK- ARTEN <i>T. s. ELEGANS</i> ,	

<i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> (ALLE MESSWERTE)	75
ABBILDUNG 23: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT UNTER EINBEZIEHUNG ALLER INDIVIDUELLEN MESSWERTE.....	76
ABBILDUNG 24: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM	77
ABBILDUNG 25: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ALTERSGRUPPEN UNTER EINBEZIEHUNG ALLER INDIVIDUELLEN MESSWERTE	78
ABBILDUNG 26: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ALTERSGRUPPEN UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM	78
ABBILDUNG 27: „BOLUS“-MRT DER <i>T. S. ELEGANS</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ALTERSGRUPPEN UND DEN FUTTERARTEN UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM	79
ABBILDUNG 28: „BOLUS“-MRT DER <i>E. ORBICULARIS</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ALTERSGRUPPEN UND DEN FUTTERARTEN UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM	80
ABBILDUNG 29: „BOLUS“-MRT DER <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ALTERSGRUPPEN UND DEN FUTTERARTEN UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM	80
ABBILDUNG 30: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN FUTTERARTEN UNTER EINBEZIEHUNG ALLER INDIVIDUELLEN MESSWERTE (SKP CV = CARNIVORE VARIANTE; SKP OV = OMNIVORE VARIANTE; SKP RFA = MIT ZELLULOSEPULVER ANGEREICHETERTE VARIANTE; KRÄUTER + RFA = MIT ZELLULOSEPULVER ANGEREICHETERTE WILDKRÄUTER).....	83
ABBILDUNG 31: „BOLUS“-MRT DER DREI SK-ARTEN <i>T. S. ELEGANS</i> , <i>E. ORBICULARIS</i> UND <i>T. H. BOETTGERI</i> IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN FUTTERARTEN UNTER EINBEZIEHUNG DER MITTELWERTE JE INDIVIDUUM (SKP CV = CARNIVORE VARIANTE; SKP OV = OMNIVORE VARIANTE; SKP RFA = MIT ZELLULOSEPULVER ANGEREICHETERTE VARIANTE; KRÄUTER + RFA = MIT ZELLULOSEPULVER ANGEREICHETERTE WILDKRÄUTER).....	83
ABBILDUNG 32: „BOLUS“-MRT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER Wassertemperatur (BEISPIEL EINER DER 10 SAMPLE REGRESSIONEN BEI <i>T. S. ELEGANS</i> ; SCHWARZE PUNKTE = ALLE MESSWERTE DER <i>T. S. ELEGANS</i> ; ROTE PUNKTE = ZUFALLSZIEHUNG EINER PASSAGE PRO SK; ROTE LINIE = ERRECHNETE REGRESSION)	134
ABBILDUNG 33: „BOLUS“-MRT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER Wassertemperatur (BEISPIEL EINER DER 10 SAMPLE REGRESSIONEN BEI <i>E. ORBICULARIS</i> ; SCHWARZE PUNKTE = ALLE MESSWERTE DER <i>E. ORBICULARIS</i> ; ROTE PUNKTE = ZUFALLSZIEHUNG EINER PASSAGE PRO SK; ROTE LINIE = ERRECHNETE REGRESSION).....	134
ABBILDUNG 34: „BOLUS“-MRT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER Lufttemperatur (BEISPIEL EINER DER 10 SAMPLE REGRESSIONEN BEI <i>T. H. BOETTGERI</i> ; SCHWARZE PUNKTE = ALLE MESSWERTE DER <i>T. H. BOETTGERI</i> ; ROTE PUNKTE = ZUFALLSZIEHUNG EINER PASSAGE PRO SK; ROTE LINIE = ERRECHNETE REGRESSION).....	135
ABBILDUNG 35: MRT IN ABHÄNGIGKEIT VOM KÖRPERGEWICHT - BEISPIEL EINER SAMPLE REGRESSION BEI SK NR. 11 (<i>T. S. ELEGANS</i> ; SCHWARZE PUNKTE = ALLE MESSWERTE DER SK; BLAUE LINIE = ERRECHNETE REGRESSION)	135

XI. TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: TAXONOMISCHE EINORDNUNG DER DREI IN DER STUDIE VERWENDETEN SCHILDKRÖTENARTEN (NACH WILKINSON, 2004A UND IVERSON, 1992)	3
TABELLE 2: ÜBERSICHT ÜBER IN DER LITERATUR ERMITTELTE MAGEN-DARM-PASSAGEZEITEN BEI SCHILDKRÖTEN ...	36
TABELLE 3: REZEPTE FÜR DIE DREI VERWENDETEN VARIANTEN DES SCHILDKRÖTENPUDDINGS (NACH KÖLLE (2009))	55
TABELLE 4: TROCKENSUBSTANZ (TS) UND NÄHRSTOFFZUSAMMENSETZUNG DER DREI VARIANTEN DES SCHILDKRÖTENPUDDINGS BEZOGEN AUF DIE TS.....	56
TABELLE 5: UMRECHNUNG DER CHROMOXIDDOSE IN % DER FUTTER-ORIGINALSUBSTANZ (OS)	58
TABELLE 6: ANZAHL N (ANTEIL) DER PASSAGEN MIT ABWEICHUNGEN IN DER T_{\min} UND T_{\max} ZWISCHEN DER „LANGEN“ UND DER „BOLUS“-AUSZÄHLUNG	64
TABELLE 7: PASSAGEZEITEN - MEDIAN (MINIMUM - MAXIMUM) IN KALENDERTAGEN BEI DEN DREI SCHILDKRÖTENARTEN.....	66
TABELLE 8: DURCHSCHNITTICHE BOLUSPASSAGEZEITEN IN TAGEN (D) UND KOTTAGEN (N KOT) BEI DEN DREI SCHILDKRÖTENARTEN.....	67
TABELLE 9: LINEARE REGRESSIONEN VON „BOLUS“-MRT UND KALENDERWOCHE	74
TABELLE 10: LINEARE REGRESSIONEN VON FUTTERMENGE UND FUTTERART, Wassertemperatur UND MRT BEI DEN WSK	81
TABELLE 11: DURCHSCHNITTICHE FUTTERMENGE BEI DEN ALTERSGRUPPEN DER WSK	81
TABELLE 12: PASSAGEZEITEN (MEDIAN) BEI DEN DREI SCHILDKRÖTENARTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER FUTTERART UNTER EINBEZIEHUNG ALLER INDIVIDUELLEN MESSWERTE	84
TABELLE 13: IN DER LITERATUR VERWENDETE GELÄUFIGE BEZEICHNUNGEN, ABKÜRZUNGEN UND DEFINITIONEN FÜR PASSAGEZEITEN	131
TABELLE 14: SAMPLE REGRESSIONEN ZUM EINFLUSS DER DURCHSCHNITTICHEN UMGEBUNGSTEMPERATUR AUF DIE „BOLUS“-MRT	133
TABELLE 15: SAMPLE REGRESSIONEN ZUM EINFLUSS DES DURCHSCHNITTICHEN KÖRPERGEWICHTES AUF DIE „BOLUS“-MRT	133
TABELLE 16: LINEARE REGRESSIONEN ZUM EINFLUSS DES DURCHSCHNITTICHEN KÖRPERGEWICHTES AUF DIE „BOLUS“-MRT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ALTERSGRUPPE.....	133

XII. DANKSAGUNG

Zu allererst geht mein Dank an Herrn Prof. Dr. Korbel für die Übernahme der Betreuung dieser Arbeit. Ohne seine Unterstützung wäre der Abschluss der Arbeit nicht möglich gewesen.

Ein ganz besonderes Dankeschön auch an Frau PD Dr. Monika Rinder für die ausgezeichnete Betreuung, die „moralische Unterstützung“ und die gewissenhafte Korrektur.

Außerdem danke ich Frau PD Dr. Petra Kölle für die Überlassung des interessanten Themas. Herzlich bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Dr. Markus Baur und bei seinem gesamten Team von der Auffangstation für Reptilien für die Bereitstellung von Räumlichkeiten, Material und den Studentieren und für die tatkräftige Hilfe beim Aufbau der Aquarien. Auch der Medizinischen Kleintierklinik der LMU gebührt mein Dank für die Überlassung von Räumlichkeiten.

Des Weiteren danke ich Dr. André Klima und Noemi Castelletti, Herrn PD Dr. Sven Reese und Andy Aschenbrenner für die Hilfe bei der statistischen Darstellung der Daten und die kompetente statistische Beratung.

Auch Frau Dr. Julia Fritz möchte ich herzlich danken für die bereitwillige Unterstützung in ernährungsphysiologischen Fragen.

Einen ganz lieben Dank möchte ich auch an meine Freunde Lena und Silvie richten für ihre zahlreichen Ratschläge und das gewissenhafte Korrekturlesen und auch an Alex und Jeni für die vielfältigen Tipps zur Anfertigung wissenschaftlicher Arbeiten.

Abschließend möchte ich meiner Familie meinen tiefen Dank ausdrücken: meinen Eltern, auf die immer Verlass ist und ohne die auch das Tiermedizinstudium nicht möglich gewesen wäre, meiner Mutter außerdem für die vielen Nachmittage

Hunde- und Kinderbespaßung, meinem Vater für das Zuhören und den guten Durchblick, wenn alles durcheinander erscheint, Marius für die konstruktiven Diskussionen, seine Geduld, seine starken Nerven, seinen selbstverständlichen Rückhalt und die Hilfen bei sämtlichen Computer- und Formatierungsproblemen und schließlich auch Mara für ihre faszinierenden Ablenkungsmanöver und die (ent)spannende Pausengestaltung.